Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Izumy Pinheiro Doihara
Shafira Costa Linhares
(Organizadoras)

MEDIO AMBIENTE:
Agricultura, desarrollo y sustentabilidad
2

Atena Editora
Ano 2023

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Izumy Pinheiro Doihara
Shafira Costa Linhares
(Organizadoras)

MEDIO AMBIENTE:

Agricultura, desarrollo y sustentabilidad

2

Atena Editora
Ano 2023

MULTIDISCIPLINAR

Medio ambiente: agricultura, desarrollo y sustentabilidad 2

Diagramação: Camila Alves de Cremo
Correção: Maiara Ferreira
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: Os autores
Organizadores: Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Izumy Pinheiro Doihara
Shafira Costa Linhares

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M491 Medio ambiente: agricultura, desarrollo y sustentabilidad 2 / Organizadores Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos, Izumy Pinheiro Doihara, Shafira Costa Linhares. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-1530-5
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.305230208

1. Medio ambiente. 2. Agricultura. I. Silva-Matos, Raissa Rachel Salustriano da (Organizador). II. Doihara, Izumy Pinheiro (Organizador). III. Linhares, Shafira Costa (Organizador). IV. Título.

CDD 577

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

MULTIDISCIPLINAR

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

MULTIDISCIPLINAR

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce,* ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

Ao longo da história humana o uso dos recursos naturais sempre gerou resíduos que na maioria das vezes, contribuíram para alterações e contaminações ao meio ambiente. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU) meio ambiente é o conjunto de elementos físicos, químicos, biológicos e sociais que podem causar efeitos diretos ou indiretos sobre os seres vivos e as atividades humanas e desenvolvimento sustentável é o conjunto de atividades humanas que visam satisfazer as necessidades presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras a satisfazerem as suas próprias necessidades.

Ações de sustentabilidade visão adotar medidas estratégicas pela sociedade para a preservação e conservação do meio ambiente. Para permitir a coexistência do homem e suas ações antrópicas com a preservação e manutenção dos agroecossistemas. Atualmente observa-se ainda mais aguçada a tendência do uso desses recursos de forma adequada e evitando a degradação ambiental, motivada pela conscientização ambiental de que o desequilíbrio gerado tem correlação direta com os problemas atuais como mudanças climáticas e aquecimento global.

Diante deste senário atual, e cientes dos impactos que o setor de produção agrícola desencadeia ao meio ambiente, têm se buscado adotar práticas inovadoras visando o desenvolvimento agrícola sustentável como forma de potencializar as atividades do setor de produção mesmo ao modelo hegemônico de produção agrícola.

A busca por estratégias inovadoras para a agricultura está atrelada ao emprego de mudanças nos modelos de produção de alimentos e dos recursos empregados. Através dos estudos e pesquisas podemos identificar modelos de cultivo e assim definir critérios para um desenvolvimento sustentável que são fundamentais ao desenvolvimento de políticas públicas de incentivos ao desenvolvimento agrícola sustentável. O uso de modelos de cultivos agrícolas que caminhem para a sustentabilidade dos agroecossistemas são necessários e sua adoção permite o desenvolvimento agrícola mais harmônico e sustentável, permitindo assim a continuidades dos sistemas de produção agrícola para as presentes e futuras gerações.

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos

Izumy Pinheiro Doihara

Shafira Costa Linhares

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

COMPARISON BETWEEN ACTIVE AND PASSIVE OPTICS SENSORS TO MONITOR SPECTRAL BEHAVIOR DURING RICE GROWTH STAGES

Data de aceite: 03/07/2023

Armando Lopes de Brito Filho
São Paulo State University (UNESP), School of Agricultural and Veterinarian Sciences, Jaboticabal 14884-900, SP, Brasil

Franciele Morlin Carneiro
Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Santa Helena 85892-000, PR, Brazil

Fagner Rontani
School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Louisiana State University (LSU), Baton Rouge 70808, LA, USA

Rouverson Pereira da Silva
São Paulo State University (UNESP), School of Agricultural and Veterinarian Sciences, Jaboticabal 14884-900, SP, Brasil

Ziany Neiva Brandão
State University of Mato Grosso (UNEMAT), Sinop 78550-000, MT, Brazil

Carlos Antonio da Silva Junior
State University of Mato Grosso (UNEMAT), Sinop 78550-000, MT, Brazil

Luciano Shozo Shiratsuchi
School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Louisiana State University (LSU), Baton Rouge 70808, LA, USA

ABSTRACT: The use of existing technologies within the science of remote sensing has increasingly contributed to the development of agriculture. Thus, our objective with this research was to compare performance to quality read between active and passive optics sensors are considerably greater to monitor spectral behavior of rice at different dates during their growth stages. This project will present correlations between active optical sensors with Sentinel 2 (S-2) satellite spectral bands. The vegetation indices to be used were: NDVI and CIRE. All the data simple linear regression and Pearson correlations were performed to compare active and passive sensors (satellite imageries data) with active crop canopy sensor technology. The averaged data were used along rice phenology to illustrate the dynamic of both sensors during the entire rice season. The active sensor presented better results than the passive sensor due to its being more stable for data collection under some different weather conditions.

KEYWORDS: Remote sensing, saturation issue, satellite imageries, Pearsons correlations, regression analysis.

1 I INTRODUCTION

Remote Sensing Techniques (RS) have greatly supported decision-making in agricultural production systems. Its use extends from the coverage of large geographic areas to collecting information. The information collected can be effectively acquired in real-time and used to analyze the spectral characteristics of crops.

Thus, among the RS applications, the monitoring of crop growth parameters has shown potential results in the studies of estimates of essential variables for managing rural properties, such as biomass, productivity, and biophysical characteristics of plants (Carneiro et al., 2022; Tedesco et al., 2021; Oliveira et al., 2022).

Estimating crop biophysical parameters before harvest helps growers proactively detect problems. It also assists in making decisions about irrigation, fertilizer applications, and pest and weed control. Therefore, active and passive sensors are commonly used to generate information that contributes to farmers' responses. The hypothesis of this work is active sensor has low range level than passive. This ways, we can use active sensor for reduce the range level from passive sensor, as calibration.

The main objective was to compare performance to quality read between active and passive optics sensors are considerably greater to monitor spectral behavior of rice at different dates during their growth stages

2 I MATERIAL AND METHODS

This project was conducted in 2021 across the biggest rice production region of the United States. With commodity board leaders and stakeholder partnerships we selected 3 groups that are well distributed in the Louisiana rice production region. In each group 3 fields were sensed weekly from the beginning of the rice cycle until panicle initiation, totalizing 4 weeks and dates for data collection. For each commercial field, we selected a target over canopy, bare soil and grasses to be able to calibrate imagery across dates and to correct Sentinel 2 satellite image using ground truth data. The sensor was mounted over an aluminum bar, and a handheld data logger (Holland Scientific - Geoscout) was used to record 2 minutes in 3 close locations on the rice canopy and 2 more (bare soil and grasses). Around 600 readings per site was done. For these same locations we selected a subfield region that corresponded to an area of 60 m that can cover 20x20 m pixel of Sentinel 2 for red edge and 10x10m for NIR and red bands. Obviously the frequency of cloud free images are not the same as an active sensor, but we tried to download satellite images closer to the day when active sensors were used to collect data.

The sensor used was a Holland Scientific ACS430 plus a ACS43X, that when coupled together is called *Phenom system*. This sensor is an active sensor that uses modulated LED lights that is different from sunlight, consequently we do not have interference and we are able to work even at night. The sensor records data every second linking the geographical

coordinates with NIR, red and red edge bands, additionally to the optical it also records, LAI, canopy and ambient temperature, incident and reflected PAR, chlorophyll content estimation, relative humidity and atmospheric pressure. For this project we will present correlations between active optical sensors with Sentinel 2 satellite spectral bands. The vegetation indices to be used were: NDVI and CIRE.

All the data simple linear regression and Pearson's correlations were performed to compare satellite passive data with active crop canopy sensor technology. The averaged data was used along rice phenology to illustrate the dynamic of both sensors during the entire rice season.

3 I RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Comparison between active and passive sensors

Reflected photosynthetically active radiation (PAR_R) had higher incident photosynthetically active radiation (PAR_I) values, in which it is observed that the values are inversely proportional to what there was a reduction in the PAR_R values until the third date (May 26th) and increase on the fourth date (June 9th), while in PAR_I the opposite occurs. This result can be explained due to the rice growth stages since it is known that the smaller the plant, has less canopy closure on the ground; on the other hand, it is not cover 100% of the ground, and by the way, having more percentage of soil that plant. Therefore, there will be interference in the reading due to other targets not being evaluated, such as soil reflectance. In addition to the results, the evaluated vegetation indices corroborate with what was mentioned in which the smaller the plant, the lower the vegetation index (VI) value due to the reflectance of other targets, such as, in the case of this work, the soil. As for the comparison between sensor readings, data from liabilities underestimate the values in relation to assets in field #2 (Figure 1) while at fields # 3 (Figure 2) and #4 (Figure 3) overestimated the values of both indices. The CIRE had its values overestimated in all analyzed Fields. Thus, the importance of using active sensors to calibrate passive sensors at all stages of crop growth is verified. There are specific indices, such as the NDVI, that are sensitive to saturation (Gu et al., 2013) as the plant's biomass increases, and its use is recommended at the beginning of the crop's growth; that way, when there is an increase in biomass, using other vegetation indices that do not have this problem. Another fascinating result related to the NDVI was when there was a field change, as in fields #3 and #4 (Figures 2 and 3), the NDVI readings of the S-2 were overestimated, emphasizing the importance of calibration so that this does not occur again due to error reads from noises. Data from active sensors are recommended for calibration due to their low reading variability, as they are not affected regardless of the time of day. On the other hand, passive sensors have great reading variability as they are influenced by the hours of light available, especially

if there is the presence of clouds, a fact that greatly affects the reading quality of passive optical sensors. Therefore, the active sensor showed us that it could be an excellent tool to identify this issue during the crop growth stages. The active sensor can be used to detect VI saturation issues.

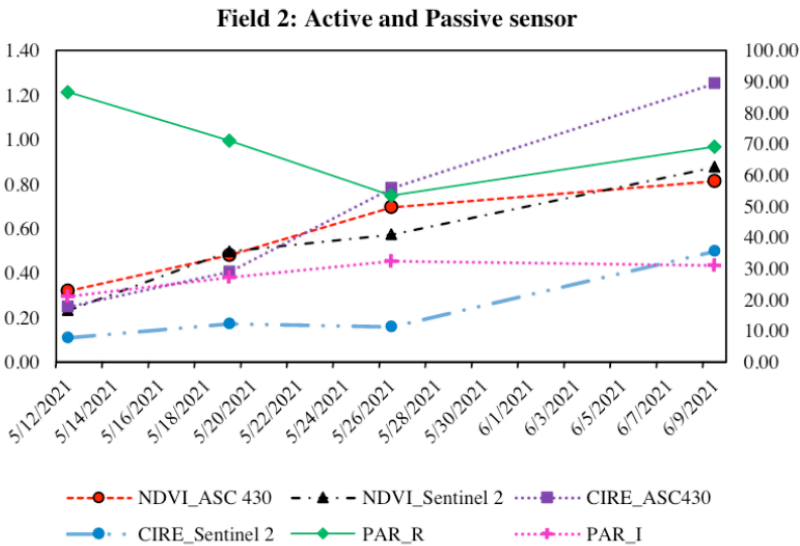



Figure 1. Comparison between active and passive sensor, according to date collection and field. PAR_I and PAR_R: incident and reflected photosynthetically active radiation, respectively; CIRE: Chlorophyll Index - Red-Edge; and, NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

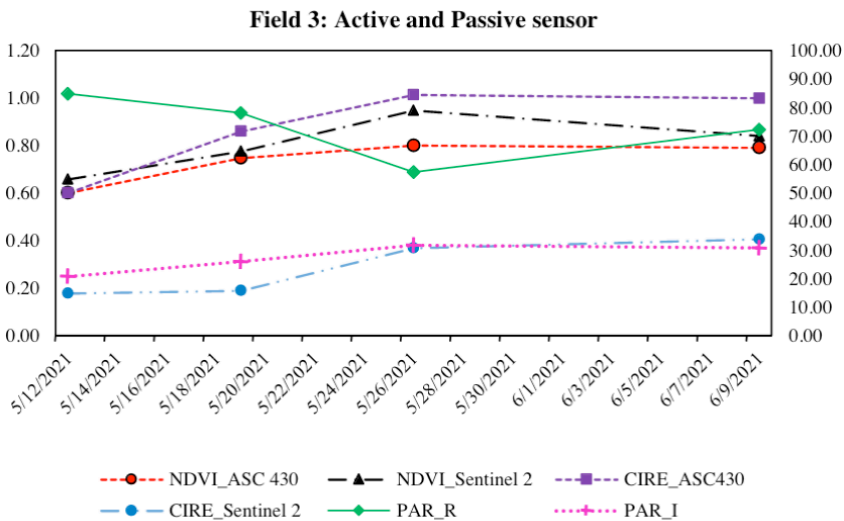



Figure 2. Comparison between active and passive sensor de according to date collection and field. PAR_I and PAR_R: incident and reflected photosynthetically active radiation, respectively;CIRE: Chlorophyll Index - Red-Edge; and,NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

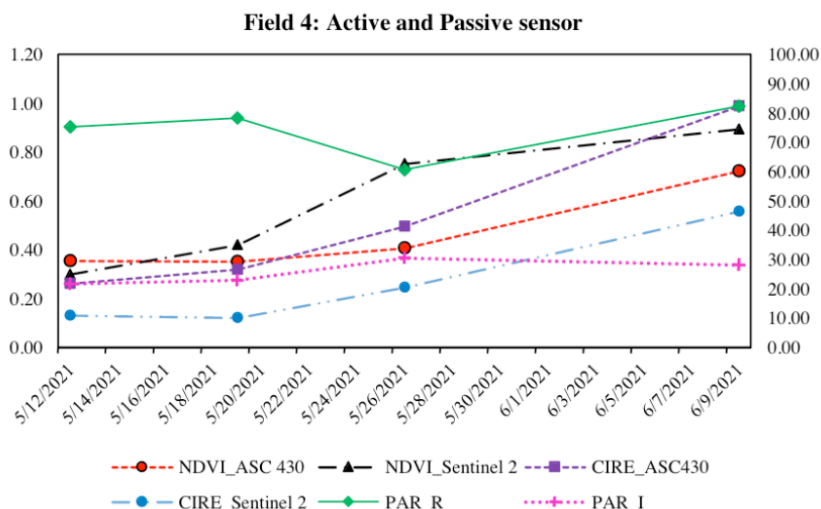



Figure 3. Comparison between active and passive sensor de according to date collection and field. PAR_I and PAR_R: incident and reflected photosynthetically active radiation; CIRE: Chlorophyll Index - Red-Edge; and NDVI: Normalized Difference Vegetation Index.

3.2 Pearson Correlation

The overview for all fields analyzed, the vegetation indices (NDVI and CIRE), and spectral bands (R - red, RE - red edge, and NIR - infrared) were with greater correlation were: biophysical characteristics (LAI - leaf area index, CCC - canopy chlorophyll content, CAN_TEMP - canopy temperature, and CH1 - chlorophyll a, and CH2 - chlorophyll b); PAR_I and PAR_R (incident and reflected photosynthetically active radiation).RE (red edge) and red spectral bands got opposite values to biophysical characteristics (LAI, CCC, and canopy temperature) and air temperature. In addition, NIR and RE bands had similar results due to wavelength located near each other and having the same behavior to crop spectral. These results can be explained due to during begging growth stages to reproductive stages absorbing greater the red spectral band rate than NIR and RE due to crops doing photosynthesis and having greater chlorophyll rate responsible for absorbing blue and red bands. At the same time, in NIR and RE, there is more reflectance than red.

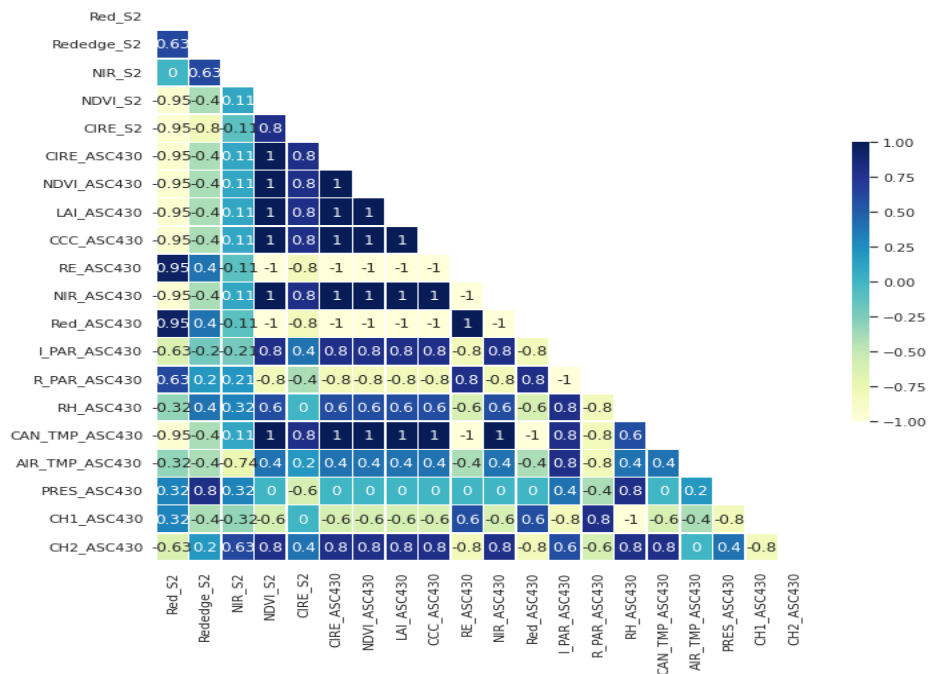



Figure 4. Pearson correlation using heat map to field 2 among active and passive sensor during rice growth stages.

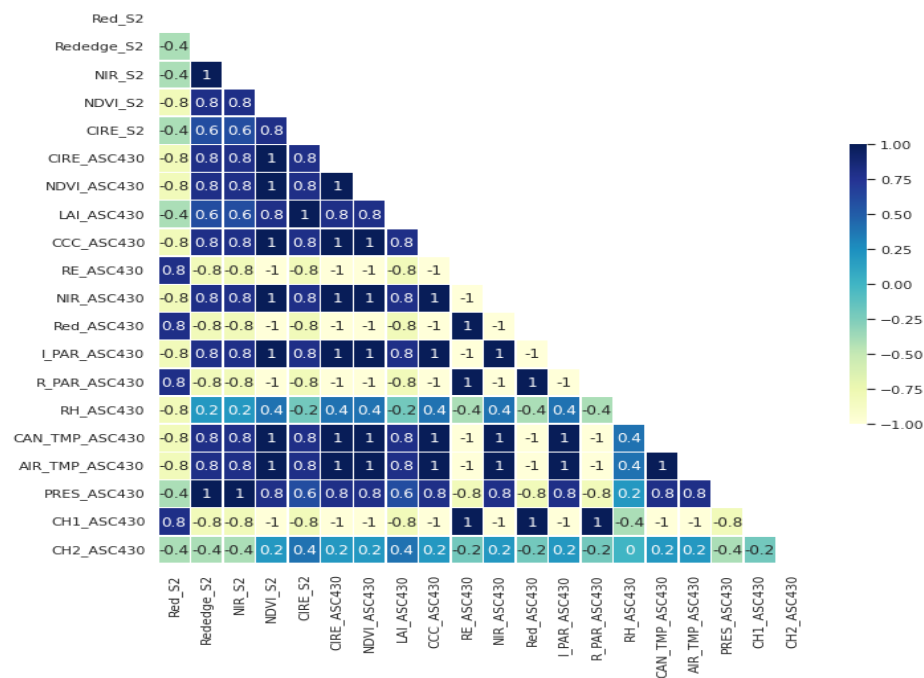



Figure 5. Pearson correlation using heat map to field 3 among active and passive sensor during rice growth stages.

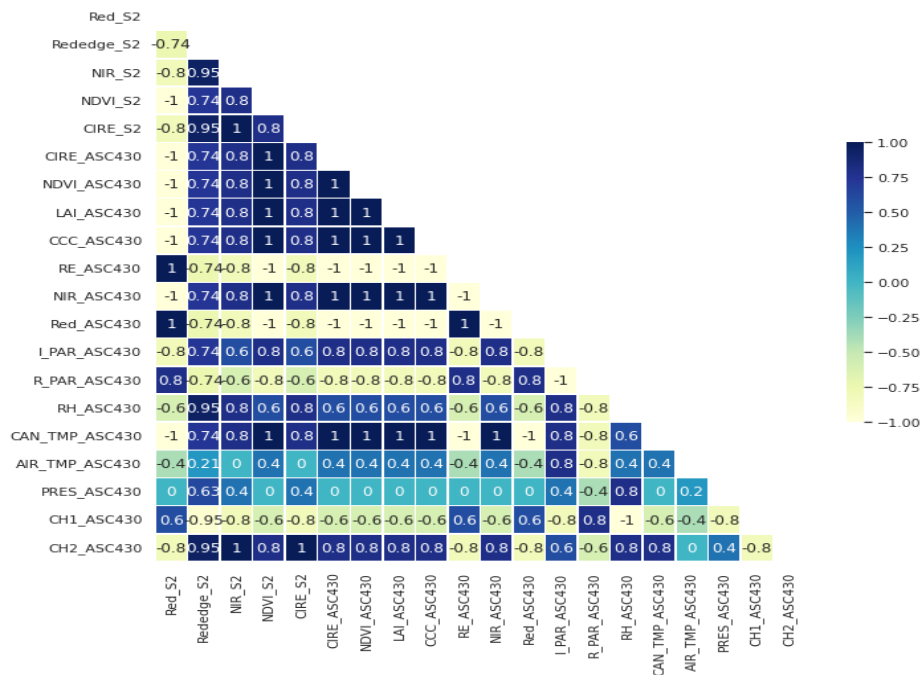



Figure 6. Pearson correlation using heat map to field 4 among active and passive sensor during rice growth stages.

3.3 Regressions Analysis

Regression analysis was calculated in three different scenarios from field 4: (i) active and passive sensors; (ii) vegetation indices and active sensors; and (iii) vegetation indices and passive sensors. The first scenario, CIRE got greater results than NDVI (Figures 6a and 6b). It can be explained due to NDVI being more susceptible to the saturation issue (Zanzarini et al., 2013; Carneiro et al., 2020). For the second and third scenarios, incident photosynthetically active radiation (PAR_I) was better to active than passive sensor (Figures 6c, 6d, 6e, and 6f).

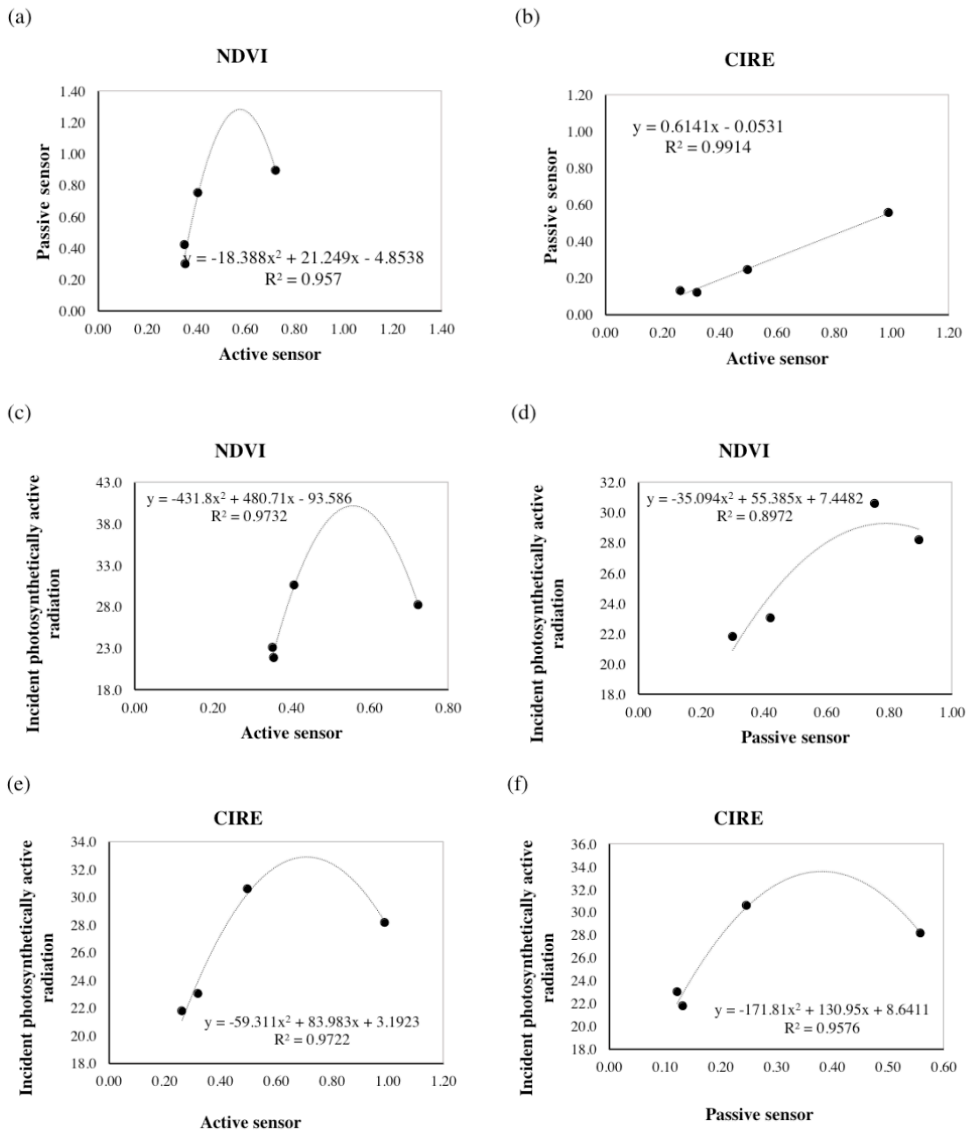



Figure 6. Regression analysis from field 4 among active and passive sensor during rice growth stages.

4 I CONCLUSIONS

The active sensor performed better than the passive sensor due to fewer weather effects and consequently being more stable for data collection. By the way, the active sensor can be used to calibrate the passive sensor. How this work shows that a passive sensor is more susceptible to effects from weather conditions (cloud percentage and rainfall) and the time of the day. While the active sensor, these issues do not appear in how we observed the results from this work. Furthermore, this work shows us interesting results and uses

different platforms, mainly passive and active sensors, to get different results even with the same vegetation index.

REFERENCES

CARNEIRO, F. M.; OLIVEIRA, M. F de.; ALMEIDA, S. L. H. de; BRITO Filho, A. L.; FURLANI, C. E. A.; SOUZA ROLIM, G. de; Silva, R. P. Biophysical characteristics of soybean estimated by remote sensing associated with artificial intelligence. **Bioscience Journal**, 38(e38024), p.1981-3163. 2022.

CARNEIRO, F. M.; FURLANI, C. E. A.; ZERBATO, C.; MENEZES, P. C. de; GÍRIO, L. A. da S.; OLIVEIRA, M. F. de. Comparison between vegetation indices for detecting spatialand temporal variabilities in soybean crop using canopysensors. **Precision Agriculture**, v.21, p.979–1007. 2020.

GU, Y.; WYLIE, B. K.; HOWARD, D. M.; PHUYAL, K. P.; JI, L. NDVI saturation adjustment: A new approach for improving cropland performance estimates in the Greater Platte River Basin, USA. **Ecological Indicators**, v.30, p.1-6. 2013.

OLIVEIRA, R. P.; BARBOSA Júnior, M. R.; PINTO, A. A.; OLIVEIRA, J. L. P.; ZERBATO, C.; FURLANI, C. E. A. Predicting Sugarcane Biometric Parameters by UAV Multispectral Images and Machine Learning. **Agronomy**, v. 12, p. 1-11, 2022.

TEDESCO, D.; OLIVEIRA, M. F.; SANTOS, A. F.; SILVA, E. H. C.; ROLIM, G. S.; da SILVA, R. P. Use of remote sensing to characterize the phenological development and to predict sweet potato yield in two growing seasons. **European Journal of Agronomy**, v.129, p. 1-12, 2021.

ZANZARINI, F. V.; PISSARRA, T. C. T.; BRANDÃO, F. J. C.; TEIXEIRA, D. D. B.;. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental,v.17, p. 608–614. 2013.

DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA PARA APLICAÇÃO DE DESFOLHANTE EM TAXA VARIÁVEL NO ALGODOEIRO

Data de aceite: 03/07/2023

Ziany Neiva Brandão
Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA Cotton), Campina Grande, PB. CEP: 58428-095, Brasil

Franciele Morlin Carneiro
Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Santa Helena, PR. CEP: 85892-000, PR, Brasil

Carlos Antonio da Silva Junior
State University of Mato Grosso (UNEMAT), Sinop 78550-000, MT, Brazil

Luciano Shozo Shiratsuchi
Louisiana State University (LSU), School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Baton Rouge LA, 70803, USA

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma metodologia de mapeamento do vigor da cultura do algodoeiro utilizando imagens aéreas multiespectrais obtidas por aeronave tripulada para subsidiar a aplicação de desfolhante em taxas variáveis. O experimento foi conduzido na fazenda Sete Povos, localizada na região de Luis Eduardo Magalhaes – BA, em um talhão de 212 hectares. O delineamento experimental adotado foi um quadrado latino 4x4, sendo quatro doses de desfolhante e quatro abordagens de aplicação, que foram: (i) dose usada na fazenda; (ii) taxas variáveis baseada somente em sensor ativo proximal, tendo sido usado o *GreenSeeker® da Trimble*; (iii) taxas variáveis baseadas em sensores ópticos proprietários instalados em avião tripulado da TerrAvion e (iv) redução da dose da fazenda em 20%. As imagens aéreas foram geradas em 22 de maio e 10 de junho de 2019, nas faixas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e visível RGB (*Red, Green, Blue*), com resolução espacial de 18 cm. As datas foram escolhidas próximo ao final do ciclo do algodoeiro, considerando que a senescência das plantas reduz o índice de área foliar e o vigor da cultura está em decréscimo. As imagens foram tratadas e os índices de vegetação (IVs) foram determinados usando a ferramenta Semi-Automatic Classification do QGIS. Foram testados quatro IVs (SR, NDVI, CIRed-Edge e o SAVI) e modelos matemáticos visando otimizar a confecção de um mapa de prescrição para dessecação do algodoeiro em taxas variáveis. Dentre os índices testados observou-se um melhor delineamento de zonas contrastantes de vigor com o índice SAVI (*Soil Adjusted*

Vegetation Index), que foi desenvolvido por Huete (1988) para minimizar os efeitos da refletância do solo. Neste IV, a constante L foi tomada como 0,5, sendo esse o valor encontrado como ótimo para minimizar o efeito da interferência do solo na refletância total do alvo (dossel do algodoeiro em senescência e solo exposto). Com o delineamento escolhido foi possível comparar diversas abordagens levando em consideração a variabilidade espacial da área. Assim, o mapa de prescrição para aplicação de desfolhante foi baseado no SAVI com valores ajustados e validados pelo sensor proximal, considerando a variação das doses de desfolhante desde a dose reduzida, apresentando dessa forma uma grande vantagem comparativamente à aplicação de taxa uniforme em termos de eficiência e economia.
PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; produtividade do algodoeiro; sensoriamento remoto; experimentação *On-farm,* Índices de Vegetação.

ABSTRACT: The objective of this work was to develop a methodology for mapping the vigor of cotton crop using multispectral aerial images obtained by a manned aircraft to support defoliant application at variable rates. The experiment was carried out at Sete Povos farm, located near Luis Eduardo Magalhães, on Bahia State, in a plot of 212 hectares. The experimental design adopted was a 4x4 Latin square, with four doses of defoliant and four application approaches, which were: (i) dose used on the farm; (ii) variable rates based on proximal active sensor only, using Trimble's GreenSeeker®; (iii) variable rates based on proprietary optical sensors of TerrAvion®, installed on a manned aircraft, and (iv) farm dose reduction by 20%. The aerial images were generated on May 22, and June 10, 2019, in the near-infrared (NIR) and visible RGB (Red, Green, Blue) spectral bands, with a spatial resolution of 18 cm. The data were chosen near of the cotton's growth cycle season end, considering that the senescence of the plants reduces the leaf area index and, the vigor of the crop is decreasing. The images were treated and vegetation indices (VIs) were determined using the QGIS Semi-Automatic Classification tool. Four VIs (SR, NDVI, CIRed-Edge and SAVI) and mathematical models were tested in order to optimize the prescription map creation for cotton desiccation at variable rates. Among the indices tested, a better delineation of contrasting zones of vigor was observed with the SAVI index (Soil Adjusted Vegetation Index), which was developed by Huete (1988) to minimize the effects of soil reflectance. In this VI, the L constant was taken as 0.5, which is the value found to be optimal to minimize the effect of soil interference on the total reflectance of the target (cotton canopy in senescence and exposed soil). With the chosen design, it was possible to compare different approaches taking into account the spatial variability of the area. Thus, the prescription map for defoliant application was based on the SAVI with values adjusted and validated by the proximal sensor, considering the variation in defoliant doses from the reduced dose, thus presenting a great advantage compared to the application of a uniform rate in terms of efficiency and economy.
KEYWORDS: Precision agriculture, cotton yield, remote sensing, *on-farm* experimentation, vegetation indices.

1 I INTRODUCÃO

A planta do algodão tem crescimento peculiar, apresentando em determinado estádio fenológico, folhas em senescência, maduras ou novas, assim como estruturas

reprodutivas em vários estádios, desde botões florais até capulhos abertos. Para evitar problemas na colheita é realizada a desfolha química, que quando realizada corretamente, com a determinação da época de aplicação e definição dos produtos a serem usados, além da observação de elementos do clima e do estado geral da cultura (BOGIANI e ROSOLEM, 2009), proporciona ao cotonicultor várias vantagens, tais como: melhoria na performance das colheitadeiras; aumento na abertura das maçãs (este processo tem dois componentes, radiação solar e hormônios, especialmente o etileno, ambos aumentados com a desfolha química); redução do apodrecimento de maçãs pela maior penetração da luz e do ar e facilidade para o operador da colheitadeira (OOSTERHUIS, 1993; AZEVEDO *et al*., 2004; AZEVEDO *et al*., 2008).

A utilização dos reguladores de crescimento reduz a altura das plantas permitindo que a luz seja captada no meio e parte baixa da planta, auxiliando assim para uma melhor uniformização da maturação dos frutos e evitando apodrecimento no terço inferior. Entretanto, a escolha da data de aplicação, que depende da maturidade do fruto, é uma avaliação nem sempre fácil de ser realizada, sendo objeto do estudo de diversas técnicas manuais (OOSTERHUIS, 1990; LANDIVAR *et al*. 1996; AZEVEDO, *et al*. 2004) ou técnicas usando sensores proximais de dossel (BAIO *et al*., 2018; TREVISAN *et al*., 2018). As técnicas existentes são difíceis de serem implantadas especialmente em grandes áreas que apresentam grande variabilidade de solos e de disponibilidade de água, alterando as características fisiológicas das plantas. Como não ocorre maturação dos frutos após a remoção das folhas (AZEVEDO, *et al*. 2004), e os métodos de observação são por vezes realizados de forma manual ou visual, a data de aplicação e as doses adequadastêm grande impacto na resposta da cultura e na produtividade (PAZZETTI e FERNANDO, 2020; BILLMAN e CAMPBELL, 2023).

Considerando a dificuldade de determinação da época adequada para aplicação do desfolhante em grandes áreas, esse trabalho se propôs a desenvolver uma metodologia de mapeamento do vigor da cultura do algodoeiro utilizando imagens aéreas multiespectrais obtidas por aeronaves tripuladas para subsidiar a aplicação de desfolhantes em taxas variáveis.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na fazenda Sete Povos localizada no oeste baiano na região do município de Luis Eduardo Magalhães, estado da Bahia, cujas coordenadas centrais são 12º53’58’’S, 46º09’29’’O, em um talhão comercial de 212 hectares. O clima da região é tropical semiúmido do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, com chuvas de outubro a abril e inverno seco. As temperaturas médias variam de 20°C a 26°C, com máximas de 42°C e mínimas podendo chegar a 14,3°C. A precipitação média anual é de 1000 mm, com chuvas distribuídas irregularmente.

As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura, baseadas na análise da fertilidade do solo realizadas pela fazenda. O delineamento experimental adotado foi um quadrado latino 4x4, usando quatro doses de desfolhante para quatro estratégias de aplicação, baseadas nas seguintes abordagens:

(i) Dose de desfolhante já usada na fazenda;

(ii) Taxas variáveis baseadas em dados do sensor ativo Greenseeker;

(iii) Taxas variáveis baseadas em dados de imagens aéreas multiespectrais obtidas por aeronave tripulada da TerrAvion em vôo de baixa altitude, e

(iv) Dose reduzida em 20% da dose estipulada pela fazenda.

Foram utilizadas imagens aéreas de duas medições, obtidas com sensor proprietário da Terravion® instalado em avião tripulado de pequeno porte (Cesna), em altitude de vôo inferior a 1km. As medições foram realizadas em 22 de maio e10 de junho de 2019, nas faixas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e no visível (RGB), com resolução espacial de 18 cm (Figura 1). As datas foram escolhidas no final do ciclo do algodoeiro, pois a senescência das plantas reduz o índice de área foliar e o vigor da cultura está em decréscimo. O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) foi estimado pelo provedor de dados usando a banda do vermelho ($\lambda_{central}$ = 614 nm, largura da banda = 76 nm) e o NIR ($\lambda_{central}$ = 855 nm, largura da banda = 50 nm).

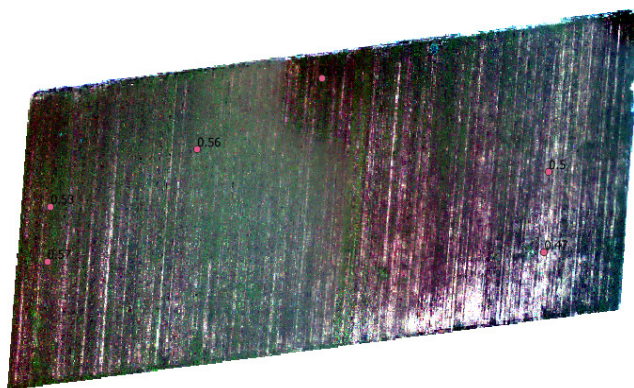



Figura 1:Imagem aérea obtida por sensor proprietário da TerrAvion®, instalada em avião pilotado, sobrevoando a área experimental em 2019 na Fazenda Sete Povos, BA.

Baseado nas dimensões do maquinário da fazenda, cujos pulverizadores possuem 30 metros de largura, o grid experimental foi de lotes com 0,18 ha (60 x 30 m^2), totalizando 1178 lotes. Para cada tratamento, os dados gerados nas imagens foram calibrados com os valores obtidos por um sensor óptico ativo proximal, o *GreenSeeker*® da Trimble (VELLIDIS

et al., 2009*),* que foram coletados nas datas dos vôos. As imagens foram tratadas usando a ferramenta *Semi-Automatic Classification* do QGIS 3.4. Usando as bandas espectrais do NIR e do vermelho (RED) no QGIS 3.4, foram preparados quatro índices de vegetação nas duas medições. Além do convencional NDVI, foram avaliados outros índices de vegetação como o SR (*Simple Ratio*), o CIRed-Edge (*Red-Edge Chlorophyll Index*) e o SAVI, que são apresentados na Tabela 1. Após a calibração, foram desenvolvidos mapas dos índices de vegetação e comparados ao NDVI para as imagens aéreas nas duas datas de avaliação.

Descrição	Abreviação	Fórmula	Referência
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$(NIR - RED)/(NIR + RED)$	(ROUSE, 1974)
SimpleRatio	SR	NIR/RED	(BIRTH e McVEY, 1968)
Red-Edge Chlorophyll Index	CIRed-Edge	$(NIR/\mathrm{Re}\,d - Edge) - 1$	(GITELSON *et al.*, 2003)
SoilAdjustedDifferenceVegetation Index	SAVI	$(1+L)\dfrac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)}$	(HUETE, 1988)

Tabela 1: Índices de vegetação testados no experimento

Em que L é uma constante que variam dependendo do estádio fenológico da cultura.

Em seguida, extraímos os valores médios dos índices de vegetação para os lotes experimentais de aproximadamente 0,18 ha (60 x 30,0 m^2), conforme apresentado na Figura 2. Ao contrário das imagens por satélite, a boa resolução das imagens obtidas através da aeronave de baixa altitude permitiu a extração de valores em escala menor que $1m^2$, melhorando a precisão do mapa de prescrição para o desfolhante.

Apesar da desfolha do algodoeiro ser um processo natural, que ocorre quando há maturidade fisiológica das estruturas reprodutivas, a desfolha induzida quimicamente permite à formação antecipada da chamada zona de abscisão (queda das folhas) no pecíolo da folha. Essa antecipação é vital para o algodoeiro que possui crescimento indeterminado, e mesmo após produzir, continua emitindo estruturas frutíferas que não contribuirão para a produção e dificultam a colheita (AZEVEDO *et al.*, 2004). Devido a essa característica de contínuo crescimento do algodoeiro, são usadas combinações de desfolhantes com maturadores, que fazem o controle hormonal da planta e permitem a abertura uniforme dos capulhos.

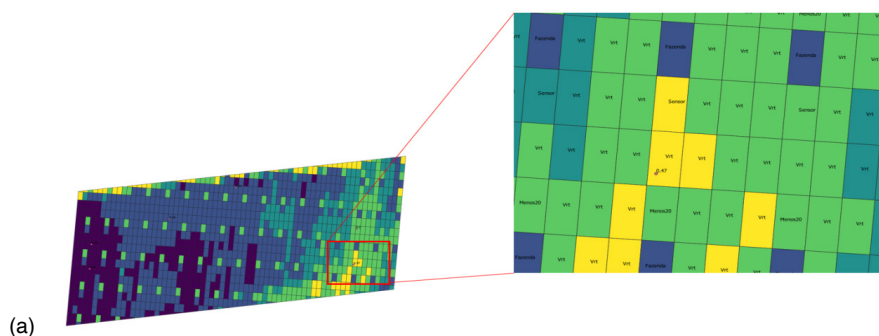



Figura 2: Mapa de prescrição da aplicação de desfolhante+maturador à taxa variável, baseado em imagem TerrAvion® calibrada com sensor proximalGreenseeker®. (a) Tratamentos em lotes de 30 x 60 m2. (b) Mapa de prescrição pronto baseado no índice de vegetação SAVI(*Soil Adjusted Vegetation Index)*,.

Assim, foi utilizado para a desfolha uma combinação do maturador Cotton Quik®, que propicia a abertura uniforme dos capulhos, com o desfolhante Punto®, que também possui propriedades de regulador de crescimento, e que reduz a ocorrência de contaminação da pluma com folhas (SUMITOMO CHEMICAL, 2022). Após a aplicação do desfolhante, a verificação da eficiência da aplicação foi realizada através de imagens do satélite *Planet Scope* (PLANET SCOPE, 2022), usando pontos previamente georreferenciados, que podem ser vistos na Figura 2b, para avaliação da qualidade da desfolha em lotes experimentais com diferentes tratamentos.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO:

A metodologia proposta permitiu a coleta de dados de alta precisão durante a senescência do algodoeiro, otimizando a avaliação e escolha da data de aplicação do

composto de maturador+desfolhante. Foi possível obter imagens para todos os índices de vegetação propostos e compará-los entre si, bem como compará-los aos valores obtidos por sensor proximal nos lotes de previamente georreferenciados.

Dentre os IVs testados apresentados na Tabela 1, observou-se um melhor delineamento de zonas contrastantes de vigor com o índice SAVI, corroborando o trabalho desenvolvido por Huete (1988) para vegetação em senescência, e com Yuhao et al (2020), que compararam o SAVI e o NDVI com valores obtidos através de câmera multiespectral instalada em UAV (*unmanned aerial vehicle*) com os do sensor ativo SPAD® para determinar teores de clorofila em arroz. A constante L foi tomada como 0,5. Esse valor de L foi encontrado como ótimo para minimizar o efeito da interferência do solo na refletância total do alvo, visto que o algodoeiro se encontrava em senescência e já havia solo exposto. Com o delineamento escolhido foi possível comparar diversas abordagens levando em consideração a variabilidade espacial da área.

3.1 Geração do Mapa de Prescrição

3.1.1 Geração de equação para conversão de imagens TerrAvion calibradas com NDVI coletado por sensores ativos terrestre

Foi observada boa correlação, positiva e significativa, entre o NDVI gerado por imagens TerrAvion® e o sensor Greenseeker® terrestre, possibilitando o uso deste protótipo para conversão de imagens NDVI e SAVI bandas espectrais calibradas da TerrAvion®. A comparação entre os valores obtidos pelo sensor proximal obtido em pontos previamente georreferenciados e o NDVI obtido por imagens TerrAvion® calibradas é mostrado na Figura 2.

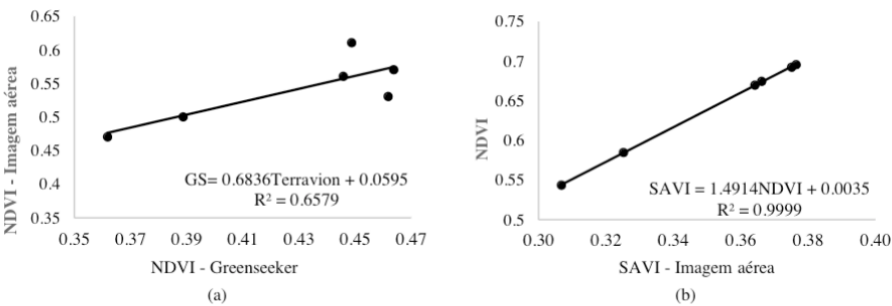



Figura 2: Índices de determinação obtidos pelas análises comparativas entre dados do sensor proximal Greenseeker® e IVs baseados em imagens TerrAvion®, coletadas na Fazenda Sete Povos, BA em 2019. (a) Comparativo entre o NDVI por imagem e o NDVI fornecido pelo sensor; (b) Comparativo entre os IVs SAVI e NDVI, fornecidos pelas imagens aéreas.

3.1.2 Algoritmos: protótipo

O mapa de prescrição para aplicação de desfolhante foi baseado no SAVI, considerando a variação das doses de desfolhante entre -20 até +20% da dose recomendada na fazenda. Os algoritmos gerados a partir das doses selecionadas pela fazenda foram baseados em variação da razão entre a calda total pela vazão do pulverizador (calda total vazão^{-1}), e não em injeção direta de desfolhante na área (XIN *et al.*, 2018). A partir das equações obtidas (Figura 3), o mapa final de prescrição foi originado seguindo os tratamentos propostos sempre utilizando o índice SAVI (Figura 3a), uma vez que este se mostrou ligeiramente superior na identificação das áreas com maiores teores de Clorofila, corroborando com o trabalho desenvolvido por, Rudd (2019) para o algodão, Yuhao *et al.* (2020), para o arroz e Gao *et al.* (2022), para o trigo.

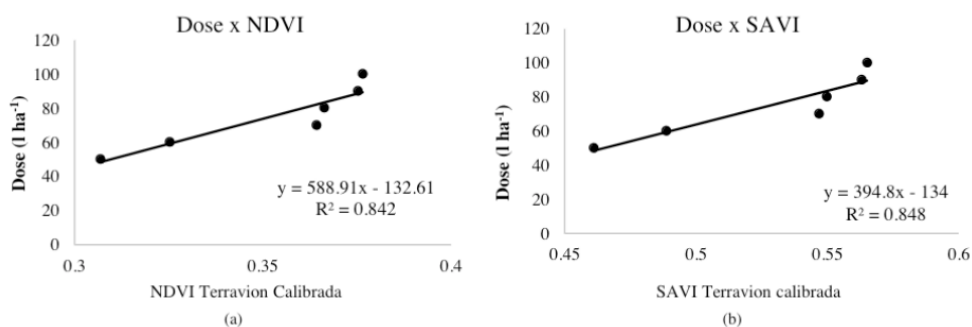



Figura 3: Avaliação dos índices de vegetação das imagens calibradas para determinação da equação de prescrição da dose de desfolhante a ser aplicada no algodoeiro em experimento na fazenda Sete Povos, BA, 2019. (a) Equação usando o NDVI por imagens calibradas daTerrAvion®; (b) Equação usando o NDVI por imagens calibradas da TerrAvion®.

3.2 Implantação e Validação

Após a aplicação do desfolhante, a área experimental foi monitorada através de imagens do do satélite *Planet Scope* (PLANET SCOPE, 2022), cuja resolução espacial é de 3 m e oferece frequência diária de revisita. Usando-se dados do sensor proximal Greenseeker® nos pontos de verificação previamente georreferenciados, verificou-se em imagens do satélite *Planet Scope* (PLANET SCOPE, 2022), apresentada na Figura 4, que a aplicação o desfolhante promoveu 89% de desfolha. A imagem *Planet Scope* obtida em 14 de agosto de 2019 mostrou valores muito baixos de NDVI nos pontos de controle, onde foram realizadas as medições com o sensor proximal antes da aplicação (Figura 4a). Pontos com NDVI médio em torno de 0,61 antes da aplicação, diminuiram para 0,12, que é um valor similarà refletância de palha seca, valores estes obtidos pelo sensor proximal, e com alta correlação (r=81%) nos mesmos pontos dentro da imagem do satélite (Figura 4b).

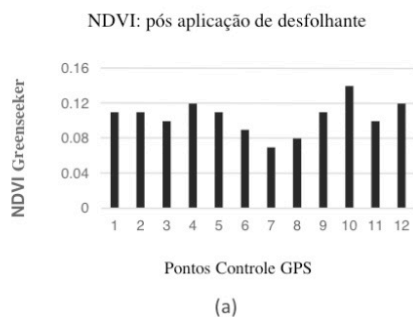



Figura 4: (a) NDVI obtido com Grenseeker após a aplicação de desfolhante em área experimental. (b) Imagem Planet Scope da área experimental antes da colheita, com data de 14 de agosto de 2019.

4 I CONCLUSÕES:

As imagens aéreas de alta resolução permitiram a determinação da melhor época de aplicação de desfolhante no algodoeiro, onde a aplicação em taxa variada usando os índices de vegetação obtidos por imagens forneceu doses adequadas para todas as manchas do talhão.

Dos índices de vegetação avaliados, o SAVI apresentou a maior correlação com o avanço da senescência do algodoeiro, tendo sido usando para a criação do algoritmo de prescrição do composto desfolhante+maturador. O mapa de prescrição resultante da calibração de imagens aéreas com a utilização de sensores ativos ópticos terrestres mostrou que existe uma grande oportunidade para um melhor ajuste às doses de desfolhantes na cultura do algodão, permitindo a economia de insumos.

A dessecação das plantas foi uniforme e eficiente. O desenvolvimento do algoritmo e procedimento para geração de mapas de prescrição de desfolhante em taxas variáveis a partir das imagens aéreas de grande cobertura, mostrou-se promissor, sendo necessário o uso dos sensores ativos para calibração e ajuste de sensores passivos. Este trabalho é um indicativo que doses menores de desfolhantes podem ser usadas através da aplicação em taxa variada, promovendo redução dos custos, desde que algoritmos adequados sejam desenvolvidos. Estudos futuros para desenvolvimento e validação de algoritmos são necessárias para plena adoção

REFERÊNCIAS

AZEVEDO, D.M.P. de; CORTEZ, J. R. B; BRANDÃO, Z.N. **Uso de Desfolhantes, Maturadores e Dessecantes na Cultura do Algodoeiro Irrigado**. Campina Grande: EMBRAPA ALGODÃO, 2004. 8 p. (EMBRAPA-CNPA. Circular Técnica, 78).

AZEVEDO, D. M. P. de.; BELTRÃO, N. E. de M.; NÓBREGA, L. B.; LEÃO, A. B.; CARDOSO, G. D.; VIEIRA, D. J. **Reguladores de crescimento, desfolhantes e dessecantes**. In: AZEVEDO, D. M. P. de; BELTRÃO, N. E. de M. (eds). O agronegócio do algodão no Brasil, 2ª ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 2, cap. 25. p.834-855.

BAIO, F. H. R.; NEVES, D. C.; SOUZA, H. B.; LEAL A. J. F.; LEITE, R. C.; MOLIN, J. P.; SILVA, S. P. Variable rate sprayingapplicationoncottonusinganelectronicflowcontroller. **Precision Agriculture**, v. 19, p.912–928. 2018 https://doi.org/10.1007/s11119-018-9564-7

BILLMAN, E. D.; CAMPBELL, B. T. Cover cropping history affects cotton boll distribution, lint yields, and fiber quality. **CropScience**, p. 1–12. 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/csc2.20931

BIRTH, G. S.; McVEY, G. Measuring the colour of growing turf with a reflectance spectrophotometer. **AgronomyJournal**. v. 60, p. 640. 1968.

BOGIANI, J. C.; ROSOLEM, C. A. Sensibilidade de cultivares de algodoeiro ao cloreto de mepiquat. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.10, p.1246-1253. 2009.

GAO,D.; QIAO, L.; SONG, D.; LI, M.; SUN, H.; AN, L.; ZHAO, R.; TANG, W.; QIAO, J. In-field chlorophyll estimation based on hyperspectral images segmentation and pixel-wise spectra clustering of wheat canopy.**Biosystems Engineering**, v. 217, p. 41-55. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2022.03.003

GITELSON, A. A.; GRITZ, Y.; MERZLYAK, M. N. Relationships between leaf chlorophyll content and spectral reflectance and algorithms for non-destructive chlorophyll assessment in higher plant leaves. **Journal of Plant Physiology**, n. 160, p. 271-282. 2003.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment,** v. 25, p. 295-309, 1988.

LANDIVAR, J. A.; COTHREN J. T.; Livingston, S. **Development and evaluation of the average five internode length technique to determine time of mepiquat chloride application.** In: Proc. Beltwide Cotton Conf. P. Dugger and D.A. Richter (Ed). Natl. Cotton Council of Am., Memphis, TN. p. 1153-1156. 1996.

OOSTERHUIS, D. M. Growth and development of a cotton plant. In W. N. Miley & D. M. Oosterhuis (Eds.), **Nitrogen nutrition of cotton: Practical issues**. 1990. p. 1–24. ASA, CSSA, and SSSA Books. https://doi.org/10.2134/1990.nitrogennutritionofcotton.c1

OOSTERHUIS, D.M.; ZHAO, D. **Physiological Effects of PGR IV on the Growth and Yield of Cotton**. *1993 Beltwide Cotton Conference Proceedings,* p. 1,270. 1993.

PAZZETTI, G.; FERNANDO, J. **Manejo de desfolha**. In: BÉLOT, J-L; VILELA, P. M. C. A. (eds). Manual de Boas Práticas de Manejo do Algodoeiro em Mato Grosso, 4ª ed. Cuiabá: IMA-MT. 2020. p. 320-324. Disponível em: https://imamt.org.br/manual-de-boas-praticas-de-manejo-do-algodoeiro-em-mato-grosso-4a-edicao/.ISBN 978-85-66457-06-3.

RUDD, J. D.; ROBERSON, G. T. CLASSEN, J. J.; OSBORNE, J. A. Data collection by unmanned aircraft systems (UAS) to develop variable rate prescription maps for cotton plant growth regulators and defoliants. In Proceedings of the 2019 ASABE Annual International Meeting, Boston, MA, USA, p. 358-392. doi:10.13031/aim.201900148

PLANET SCOPE. Earth Online - Planet Scope. 2022. Disponívelem: https://earth.esa.int/eogateway/missions/planetscope

SUMITOMO CHEMICAL. Cotton Quik e Punto. 2022. Disponível em: https://www.sumitomochemical.com/asd/br-pt/regulador-de-crescimento-brasil/punto/

TREVISAN, R. G.; VILANOVA-JÚNIOR, N. S.; EITELWEIN, M. T.; MOLIN, J. P. Management of plant growth regulators in cotton using active crop canopy sensors. **Agriculture**, v. 8, n. 101. 2018. https://doi.org/10.3390/agriculture8070101

XIN, F.; ZHAO, J.; ZHOU, Y.; WANG, G.; HAN, X.; FU, W.; DENG, J.; LAN, Y. Effects of Dosage and Spraying Volume on Cotton Defoliants Efficacy: A Case Study Based on Application of Unmanned Aerial Vehicles. **Agronomy**. v. 8, n. 85. 2018. 15p. doi:10.3390/agronomy8060085

YUHAO, A.; CHE'Ya, N. N.; ROSLIN**,** N. A.; ISMAIL, M. R. Rice Chlorophyll Content Monitoring using Vegetation Indices from Multispectral Aerial Imagery**.Pertanika Journal of Science and Technology,** v. 28, n.3, p.779-795. 2020.

VELLIDIS, G.; ORTIZ, B.; RITCHIE, G.; PERISTEROPOULOS, A.; PERRY, C.; RUCKER, K. **Using GreenSeeker**® to drive variable-rate application of plant growth regulators and defoliants on cotton. In 7th European Conference on Precision Agriculture. Proceedings. Wageningen, Netherlands. 2009 (CD-ROM).

RUDD, J. D.; ROBERSON, G. T. CLASSEN, J. J.; OSBORNE, J. A. Data collection by unmanned aircraft systems (UAS) to develop variable rate prescription maps for cotton plant growth regulators and defoliants. In Proceedings of the 2019 ASABE Annual International Meeting, Boston, MA, USA, p. 358-392. doi:10.13031/aim.201900148

MACHINE LEARNING APPROACH FOR CORN NITROGEN RECOMMENDATION

Data de aceite: 03/07/2023

Franciele Morlin Carneiro
Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Santa Helena 85892-000, PR, Brazil

Armando Lopes de Brito Filho
São Paulo State University (UNESP), School of Agricultural and Veterinarian Sciences, Jaboticabal 14884-900, SP, Brasil

Murilo de Santana Martins
School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Louisiana State University (LSU), Baton Rouge 70803, LA, USA

Ziany Neiva Brandão
Brazilian Agricultural Research Corporation (EMBRAPA Cotton), Campina Grande 58428-095, PB, Brasil

Luciano Shozo Shiratsuchi
School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Louisiana State University (LSU), Baton Rouge 70803, LA, USA

ABSTRACT: Nitrogen (N) fertilizer recommendation tools are vital to precise agricultural management. The objectives of this research were to determine how many variables and remote sensor data are needed to prescribe N fertilizer in corn (*Zea mays* L.), PFP (partial factor productivity), and yield integrating remote sensing and soil sensor technologies. The variables of this work were NIR, Red, Red-Edge wavelengths, plant height, canopy temperature, LAI (leaf area index), and apparent *soil* electrical conductivity (ECa). Random Forest Classifier was used to select the best input to estimate N rates, PFP, and corn yield. A confusion matrix was used to identify the accuracy of the Random Forest Classifier to detect the best inputs to estimate for which input we evaluated in this work. According to Random Forest, the best inputs to estimate the N rate and PFP were Red-Edge, Red, and NIR wavelengths, plant height, and canopy temperature. For estimate corn yield were: NIR wavelengths, N rates, plant height, Red-Edge, and canopy temperature.

KEYWORDS: Active sensor, Random Forest, remote sensing, corn, yield estimate.

1 I INTRODUCTION

By the year 2050, it is estimated that agricultural production levels will have to double to meet the rising level of population growth (FOLEY et al., 2011; THE ROYAL

SOCIETY, 2016; NARVAEZ et al., 2017). This way, strategies must be created to meet sustainability demands, food security (produce food for everybody), and governance. Thus, the application of tools that support agricultural management has been gaining more and more prominence. That said, developing remote sensing technologies (e.g., sensors) is now considered one of the most effective tools for crop monitoring.

Several studies have applied remote sensing as a data acquisition tool for fast, profitable, and economically elaborating solutions in this context. Determination of crop yields is an essential information for crop field management. Measure the variability in greenness is one method to use in the field, to estimate crop yield, by using the greenest area within the field as the N non-limiting standard (HOLLAND and SCHEPERS, 2010). Considering this way, the integration of machine learning techniques (e.g., random forest (RF), artificial neural network(ANN)) are generally used for estimating crop yield out of remote sensing data as data-driven models.

The main objective of this experiment was to determine how many variables and how many remote sensor data are needed to prescribe N fertilizer in corn, PFP (partial factor productivity), and yield integrating remote sensing and soil sensor technologies.

2 I MATERIAL AND METHODS

The experiment was conducted during 2019-2021 continuous corn growing seasons at the Louisiana State University Doyle Chambers Central Research Station, Baton Rouge, LA, 30.365°N, -91.166°W. The soil type are Cancienne silt loam and Thibaut silt clay. The experimental design was a latin square with 4 replications (0, 45, 90, 180 kgNha^{-1}). Proximal sensing data were collected with a Phenom (ACS430®plus DAS43X® sensors) active crop canopy sensor of Holland Scientific®.

This sensor collects reflectance data in Red (670 nm), Red-Edge (730 nm), and NIR (near-infrared , 780 nm) wavelengths as well as automatically calculated NDVI and NDRE. Additionally, the Phenom sensor system also calculates LAI (leaf area index), and CCC (Canopy Chlorophyll Content) using empirical relationships with spectral bands(CUMMINGS, et. al., 2021), as presented on Table 1.

Data	Abbreviation	Formula	Reference
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$(NIR-RED)/(NIR+RED)$	(ROUSE, 1974)
Normalized Difference Red-Edge Index	NDRE	$\frac{(NIR-(Red-Edge))}{(NIR+(Red-Edge))}$	(BARNES *et al.*, 2000)
Estimated Leaf Area Index	LAI	$(k \cdot \ln(1-NDVI))$	(BASTIAANSSEN *et al.*, 1998)
Canopy Chlorophyll Content	CCC	$\frac{(a*NIR-(b*Red-Edge))}{(c*Red-Edge-(d*Red))}$	(CUMMINGS *et al.*, 2021)

Table 1: Parameters calculated by Phenom Sensor®

*Where a, b, c, d and k are scaling constants.

Biophysical characteristics as plant height, canopy temperature, were also obtained from V6 to tasselling growth stages. Apparent soil electrical conductivity was obtained with a GSSI EMP 400 Profiler®sensor using 5, 10, and 15 kHz main frequency as a proxy of soil fertility status. During several corn growth stages (from V6 to tasselling), this experiment was mapped using Profiler® and Phenom® sensors. Random forest analysis using the *R* package (caret) was performed to classify the importance of each variable plays in estimating the N rates. In addition, Table 2 details the hyperparameters used for Random Forest Classifier.

Classification model	Hyperparameters	Candidate values	Variables estimates
RFC	ntree	300	For N rates, PFP, and yield
	mtry	8	
	proximaty	True	
	importance	True	
	Type of random forest	Classification	
RFR	Random state	0	N rates (Top 12)
	Max_features	sqrt	
	N_estimators	7	
	Max_depths	6	
	Criterion	squared_error	
	Min_samples_leaf	4	
	Min_samples_split	2	
	Verbose	0	
	Bootstrap	False	
	Random state	0	N rates (Top 5)
	Max_features	sqrt	
	N_estimators	9	
	Max_depths	4	
	Criterion	squared_error	
	Min_samples_leaf	6	
	Min_samples_split	2	
	Verbose	0	
	Bootstrap	False	
	Random state	0	PFP
	Max_features	sqrt	
	N_estimators	9	
	Max_depths	5	
	Criterion	squared_error	
	Min_samples_leaf	2	
	Min_samples_split	5	
	Verbose	0	
	Bootstrap	False	

Random state	0	
Max_features	sqrt	
N_estimators	10	
Max_depths	6	
Criterion	squared_error	Yield
Min_samples_leaf	24	
Min_samples_split	2	
Verbose	0	
Bootstrap	False	

Table 2. Hyperparameters using Random Forest Classifier (RFC) and Regressor (RFR).

3 I RESULTS

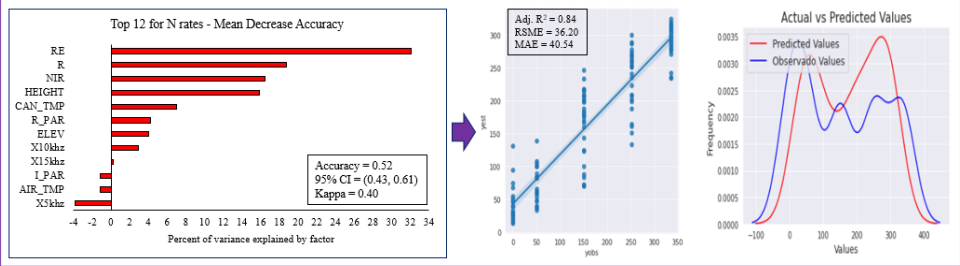
3.1 Machine learning to estimate N rates, PFP, and yield

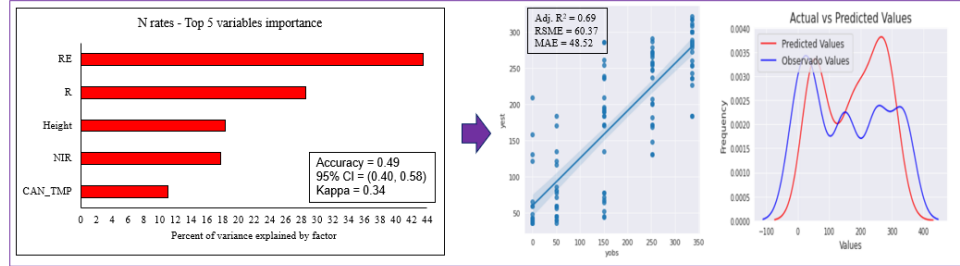
Random Forest Classifier was used to select the best input to estimate N rates (Figures 1 a and 1 b), PFP (Figure 1 c), and corn yield (Figure 1 d). The inputs used were:GSSI Profiler EMP400® (soil electromagnetic induction sensor) at 5, 10, and15 kHz frequencies, NDVI, NDRE, NIR, Red and Red-Edge wavelengths, LAI, CCC, AIR_TMP (air temperature), RH (relative humidity), CAN_TMP (canopy temperature), I_PAR and R_PAR (incident and reflected photosynthetically active radiation), PRES (pressure),CH1 (chlorophyll a), and CH2 (chlorophyll b).

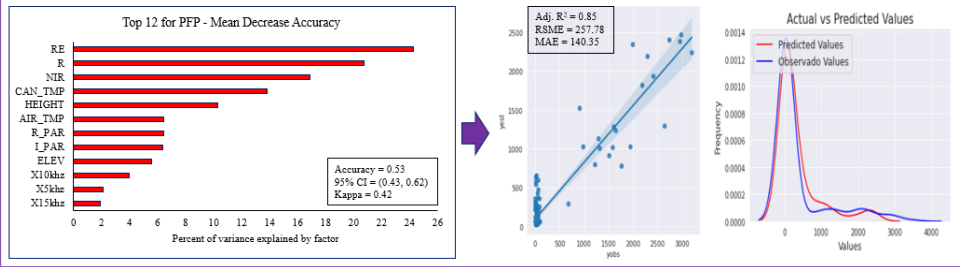
According to RFR (Random Forest Regressor), were selected the twelve (Figure 1a) and five (Figure 1b) inputs to estimate N rate. It was observed that the coefficient of determination (R^2) showed adifference of 0.15, indicating that to determine the N rate to be used, the producer do not need several inputs for your fertilizer application. In this case, it wasrequired to use just parameters as Red-edge, Red, and NIR wavelengths, plant height, and canopy temperature. In addition, we can see the accuracy from RFC the difference was very low (0.03), these results were greater for farmer because to facilitate to their to collection data and decision making.

PFP (Partial Factor Productivity)estimate, the top five inputs select for these inputs were: red-edge, red, nir, canopy temperature, plant height. For and corn yield estimate, the best five variables were: nir, N rate, plant height, red-edge, and canopy temperature.

The wavelengths got greater results than other inputs mainly red-ege, red, and nir to estimate N rate, PFP, and corn yield.

(a)

(b)

Top 5 for N rate

(c)

Top 12 for PFP

(d)

Top 13 for Yield

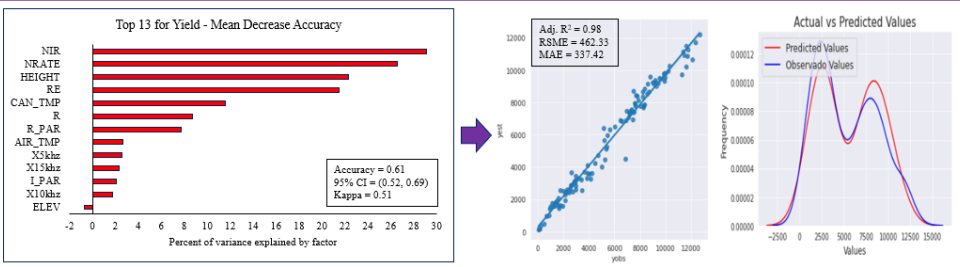



Figure 1. Random Forest Classifier to select the best inputs to estimate N rates (a anb b), PFP - partial factor productivity (c), and corn yield (d).

3.2 Random Forest Model Accuracy Validation

Confusion matrix was used to identify the accuracy to Random Forest Classifier to detect what the best inputs to estimate for which input that we evaluated in this work. For the best accuracy was yield estimate.

Predicted	Validation Data (Number)					Accuracy (%)	Overall Statistic	
	A	B	C	D	E			
Top 12 for Nitrogen rates								
A	**19**	6	3	3	1	72.52	Accuracy	0.5191
B	5	**18**	4	1	2	68.70	95% CI	(0.4301, 0.6072)
C	0	4	**8**	5	3	30.53	No Information Rate	0.2214
D	2	0	5	**11**	8	41.98	P-Value [Acc> NIR]	$9.718e^{-14}$
E	0	1	3	7	**12**	45.80	Kappa	0.3975
Top 5 for Nitrogen rates								
A	**18**	7	3	3	2	0.6870	Accuracy	0.4885
B	5	**17**	3	0	3	0.6489	95% CI	(0.4003, 0.5774)
C	0	2	**7**	7	3	0.2672	No Information Rate	0.2214
D	2	1	2	**11**	7	0.4198	P-Value [Acc> NIR]	$1.653e^{-11}$
E	1	2	8	6	**11**	0.4198	Kappa	0.3596
Top 12 for Partial Factor Productivity (PFP)								
A	**10**	0	4	4	0	38.17	Accuracy	0.5344
B	6	**13**	6	3	2	49.62	95% CI	(0.4452, 0.6219)
C	1	7	**11**	2	0	41.98	No Information Rate	0.2214
D	3	2	5	**15**	3	57.25	P-Value [Acc> NIR]	$6.227e^{-15}$
E	8	0	3	2	**21**	80.15	Kappa	0.4199
Top 13 for Yield								
A	**23**	7	1	0	0	87.79	Accuracy	0.6107
B	7	**14**	7	0	1	53.44	95% CI	(0.5216, 0.6946)
C	0	5	**12**	4	1	45.80	No Information Rate	0.2366
D	1	0	4	**16**	7	61.07	P-Value [Acc> NIR]	$< 2.2e^{-16}$
E	0	0	0	6	**15**	57.25	Kappa	0.5118

Table 2. Confusion matrix parameters from Random Forest Classifier to estimate N rates, PFP, and N rates.

3.2.1 Comparison of metric parameters among variables estimated as N rates, PFP, and yield

Yield estimate (Figure 2) had more range variable than N rates and PFP due to yield was affect many factors as harvest machine, labor, weather conditions, crop, soil conditions, area topography and other.

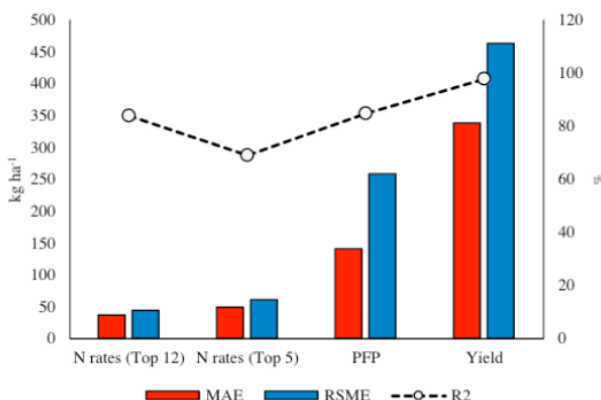



Figure 2. Metrics parameters from Random Forest Regressor using MAPE, RSME, and R^2 to estimate N rates, PFP, and yield.

4 I DISCUSSION

The main challenge nowadays is to produce food the sustainable ways. To reduce excess nitrogen application, we can use remote sensing tools to verify the variables present within the field to allow applying the right rate and place according to the crop demand. Furthermore, remote sensing is increasingly used for more sustainable production in agriculture, in addition to helping the farmer to support decision-making quickly and assertively.

PFP offered a betterway to monitor how much the farmer has increased kg grain per N applied. This information allows farmers to apply the N rate level precisely according to crop needs and consequently have a low environmental impact, reduce cost, and increase yield.

5 I CONCLUSIONS

The use of Random Forest established that the best inputs to estimate N rate and PFP were Red-Edge, Red, and NIR wavelengths, plant height, and canopy temperature. To estimate corn yield, the best inputs were: NIR wavelengths, N rates, plant height, Red-Edge, and canopy temperature.

REFERENCES

BARNES, E.M.; CLARKE, T.R.; RICHARDS, S.E.; COLAIZZI, P.D.; HABERLAND, J.; KOSTRZEWSKI, M.; WALLER, P.; CHOI, C.; RILEY, E.; THOMPSON, T.; LASCANO, R. J.; LI, H.; MORAN, M.S. **Coincident detection of crop water stress, nitrogen status and canopy density using ground-based multispectral data.** Proceedings of the 5th International Conference on Precision Agriculture. July 16-19, 2000, Bloomington, MN. USA.

BASTIAANSSEN, W.G.M., MENENTI, M., FEDDES, R.A., HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation. **Journal of Hydrology**. v. 213, p. 198–212. 1998.

CUMMINGS, C.; MIAO, Y.; PAIAO, G.D.; KANG, S.; FERNÁNDEZ, F.G. Corn Nitrogen Status Diagnosis with an Innovative Multi-Parameter Crop Circle Phenom Sensing System. Remote Sensing, v.13, 401, p. 1-18. 2021. https:// doi.org/10.3390/rs13030401

FOLEY, J. A.;RAMANKUTTY, N.; BRAUMAN, K. A;CASSIDY, E. S.;GERBER, J. S.; JOHNSTON, M.; MUELLER, N. D.; O'CONNELL, C.; RAY, D. K.; West, P. C.; BALZER, C., BENNET, E. M.; CARPENTER, S. R.; Hill, J.; MONFREDA, C.; POLASKY, S.; ROCKSTRÖM, J.; SHEEHAN, J.; SIEBERT, S.; TILMAN, D.; ZAKS, D. P. M. Solutions for a cultivated **PlanetNature**, 478.p. 337-342,2011. https://doi.org/10.1038/nature10452

HOLLAND, K.H.; SCHEPERS, J.S. Derivation of a variable rate nitrogen application model for in-season fertilization of corn. **Agronomy Journal.** v.102, p.1415–1424. 2010.

NARVAEZ, F. Y.; REINA, G.; TORRES-TORRITI, M.; KANTOR, G.; CHEEIN, F. A. A Survey of Ranging and Imaging Techniques for Precision Agriculture Phenotyping. **IEEE/ASMETransactions on Mechatronics**, v. 22, p. 2428-2439. 2017.

ROUSE, J. W., HAAS, R. H., SCHELL, J. A., DEERING, D. W., HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement of retrogradation (greenwave effect) of natural vegetation. **NASA/GSFC, Final Report,** Greenbelt, MD, 1974. 371 p.

THE ROYAL SOCIETY. **Reaping the benefits: science and the sustainable intensification of global agriculture**. Disponívelem: http://royalsociety.org/Reapingthebenefits. Accessed in: December 18th, 2019.

CAPÍTULO 4

PERCEPCIÓN UNIVERSITARIA DEL MANEJO SUSTENTABLE DEL COCODRILO DE PANTANO (CROCODYLUS MORELETII). ESTUDIO DE CASO EN LA FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS SOCIALES SOBRE LA LAGUNA DEL CARPINTERO EN TAMPICO, TAMAULIPAS

Data de aceite: 03/07/2023

Laila Alicia Peralta Escobar
Doctor en Ciencias Sociales con Orientación en Desarrollo Sustentable de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Docente-Investigador de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Alberto Alvarado Rivera
Doctor en Derecho de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Docente-Investigador de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

Julio César Morales Romo
Doctor en Derecho de la Universidad de Humboldt. Docente-Investigador de la Universidad Autónoma de Tamaulipas

RESUMEN: La presente investigación surge de la problemática que impera en la zona por el adecuado uso y manejo de sus recursos naturales y la necesidad de fortalecer los Objetivos del Desarrollo (ODS-4) en materia de Educación de calidad dentro de nuestras dependencias educativas. Siendo su objetivo *"Establecer la percepción universitaria del impacto producido por el cocodrilo de pantano (Crocodylus Moreletii) dentro de los docentes y educandos de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales en la Laguna del Carpintero en Tampico, Tamaulipas para el fortalecimiento de la educación universitaria"*. El manuscrito versa en las teorías sobre sustentabilidad (económico, social y ambiental) en correlación a las teorías de percepción en materia educativa. Se construyo un instrumento de medición con dieciséis preguntas dentro de la plataforma institucional Microsoft 365 *"Forms".* Sus respuestas son dicotómicas y algunas de estas son abiertas, dándole enfoque cualitativo y cuantitativo en la elaboración de estadísticas y cuadros que sintetizan el análisis de resultados, concluyendo el documento con nuevas rutas de aprendizaje en el cuidado y manejo de la especie, así como al medio ambiente que lo rodea.

PALABRAS CLAVE: Educación ambiental, sustentabilidad y percepción.

UNIVERSITY PERCEPTION OF SUSTAINABLE MANAGEMENT OF THE SWAMP CROCODILE (CROCODYLUS MORELETII). CASE STUDY AT THE FACULTY OF LAW AND SOCIAL SCIENCES ON LAGUNA DEL CARPINTERO IN TAMPICO, TAMAULIPAS

ABSTRACT: This research arises from the problem that prevails in the area due to the proper use and management of its natural resources and the need to strengthen the Development Objectives (SDGs-4) in terms of quality education within our educational units. Being its objective *"Establish the university perception of the impact produced by the swamp crocodile (Crocodylus Moreletii) within the teachers and students of the Faculty of Law and Social Sciences in the Laguna del Carpintero in Tampico, Tamaulipas for the strengthening of university education".* The manuscript deals with the theories on sustainability (economic, social and environmental) in correlation to the theories or perception in educational matters. A measurement instrument with sixteen questions was built within the institutional platform Microsoft 365 *"Forms".* Their answers are dichotomous and some of these are open, giving a qualitative and quantitative approach in the elaboration of statistics and tables that synthesize the analysis of results, concluding the document with new learning routes in the care and management of the species, as well as in surrounding environment.
KEYWORDS: Environmental education, sustainability, and perception.

INTRODUCCIÓN

La Educación Ambiental cuenta con el primer documento formal de manera internacional que se denomina *Carta de Belgrado*, la intención de dicho documento emitido en el año de 1975 es concientizar a todos los pueblos del mundo que tengan comprensión, capacidad, carácter, motivación y compromiso para la resolución conjunta de problemas ambientales. La travesía de las agendas ambientales en materia de educación sugiere temas como el agua, aire, plásticos, cambio climático, océanos y mares, creando así nuevas habilidades en la construcción de conocimientos novedosos en la ruta sustentable dentro de sus compromisos institucionales. (Lara Arzate, 2021)

La Agenda 2030 es un derivado de los trabajos que se han realizado por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), entre los años de 1972-2015, en donde se cuentan con acuerdos internacionales en materia de desarrollo sustentable como la conferencia de las Naciones Unidas para un medio ambiente sano, la Cumbre de la tierra, y el Cambio Climático, Objetivos de Desarrollo del Milenio, entre otros. En el año 2015 se firma un acuerdo internacional entre la ONU y la CEPAL, donde se enlistan los Objetivos del Desarrollo Sustentable (ODS-17). Para la presente investigación, se destaca el ODS-4 sobre una educación inclusiva, equitativa y de calidad que es dirigida durante la vida de *todos los individuos* de este planeta. Se establecen objetivos dirigidos a que los educandos cuenten con conocimientos teoricos y prácticos, con estilos diferentes de aprendizaje en el fomento al desarrollo sustentable. Hay maximas sobre derechos humanos, sobre la riqueza natural y cultural en la transformación de nuevos paradigmas educativos. (Valenzuela Argüelles, 2013)

Derivado de la pandemia del COVID-19, se ha presentado un retroceso en la educación contando con estadisticas alarmantes sobre 617 millones de estudiantes en todo el mundo que carecen de conocimientos elementales de aritmetica y alfabetización, 57 millones de niños a nivel de educación básica no asisten a la escuela. Esto por conflictos en su mayoria y así otros daños colaterales que sobrevienen a el tema de la pandemia. En el combate para minimizar estos efectos pandemicos, la UNESCO inció la *Coalición Mundial para la Educación Ambiental COVID-19,* constituyendo alianzas conjuntas entre la ONU, sociedad civil, medios masivos de comunicación y los paises asociados en el diseño e implementación de nuevas soluciones que realicen innovaciones para la mitigación de la problemática mundial. (Unidas, Objetivos del Desarrollo Sostenible, 2020)

SUSTENTO TEÓRICO CONCEPTUAL DE LA INVESTIGACIÓN.

Dentro de las *Teorías del Desarrollo* debemos considerar el transito estructural que ha realizado este tema en la vertiente económica. El capitalismo es el eje central del inicio de los acomodos de la riqueza a través de su emprendedurismo. Los fundadores de las primeras corrientes del desarrollo en materia económica son: *Arthur Lewis (Ganancias a través de la inversión dentro de la industria y agricultura), Whitman Rostow (cinco etapas del desarrollo: agricultura de subsistencia, arranque, la inversión sea mayor a la población, duración de sesenta años y consumo de masas) y Raúl Prebisch-paradigma keynesiano (la teoría económica estructuralista-teoría de la CEPAL- visión Latinoamericanista del desarrollo a través del apoyo por parte de la legislación y el gobierno)* sucesivamente surgieron más teorías económicas que fueron transformando el paradigma del desarrollo económico. Sin embargo, este estilo lineal constituyo un excesivo consumo de las riquezas naturales en el mundo poniendo en peligro a la humanidad (Gutierrez Garza, 2007).

Bajo estas circunstancias, se instauraron conferencias y trabajos alrededor de todo el mundo, obteniéndose conceptos innovadores sobre desarrollo, educación ambiental, conservación. Se hicieron intentos sobre modelados económicos y políticos considerando grandes retos a seguir: protección al ambiente, economía prevaleciente a favor de la ecología sobre la industrialización de los pueblos, surgiendo en 1992 el nuevo concepto de *Desarrollo Sustentable* a efecto de satisfacer las necesidades actuales sin comprometer las futuras generaciones. Dentro de estas reflexiones se considera la prosperidad a través de la calidad de vida del entorno y de las personas. *Enrique Provencio* señala que en el camino a esta transición se encuentran temas de relevancia a considerar como un proceso armónico, considerando la protección ambiental dentro de la evolución tecnológica y marco conceptual, incluyendo a los problemas sociales sobre sus necesidades prioritarias, minimizando el consumismo, distribuyendo además los índices poblacionales a través de leyes e incluyendo la participación proactiva de la ciudadanía en los sectores *económico, social y ambiental*. (Gutiérrez Nájera, 1996)

En la inclusión ciudadana sobre estas temáticas contamos con teorías sobre la *percepción* que maneja la psicología ambiental, destacándose la *perspectiva ecológica de James J. Gibson,* en ella se detalla que el patrón óptico ambiental construido de las relaciones ecológicas (ambiente, social, físico y las personas), el individuo percibe su realidad sin necesidad de un procesamiento cognitivo previo sobre el uso de los estímulos distales. Esta percepción se obtiene a través de un patrón ambiental denominado *Affordances* (oportunidades del entorno)*,* que estimula a la persona hacer cosas con el ambiente. (Bravo Saucedo, Ramos Ródriguez, & Covarrubias, 2019). Esto, a través de una relación integradora de los elementos perceptivos de las propiedades invariantes del entorno. Dejando atrás las teorías de la percepción que se centran en el individuo por medio de sensaciones y su postura endógena.

Esta postura, toma relevancia dentro de las teorías sobre educación denominadas *Teoría Constructivista, Teoría Social Constructivista y Teoría del Conectivismo del siglo XXI* (Velásquez Monroy, y otros, 2021) todas enfocadas en el estudiante como protagonista de su propio aprendizaje, construyendo su propio conocimiento con la interacción que hace en su entorno. Por otro lado, la postura docente se convierte en una guía que estimula la interacción social del educando hacia el colectivo. La última teoría sobre el Conectivismo del siglo XXI pone de relieve la manera de obtener conocimientos a través de proyectos de investigación acercando una realidad vivida considerando nuevas alternativas y cambios en su realidad, por medio de la obtención de nodos de información en base de datos, tecnología, organizaciones, etc., abriendo paso a nuevos paradigmas en la formación a una educación ambiental.

Para *Bedoy* la educación ambiental es considerada como un proceso en donde interactúan las personas con las comunidades integrando una conciencia con el ambiente aprendiendo de esto con valores, nuevas destrezas, experiencia, capacitándose para actuar en consecuencia de manera individual o colectiva para la resolución de problemas ambientales presentes y futuros. Sin considerarse representaciones estáticas con dimensiones socioculturales, políticas y económicas de la humanidad con su medio (Martínez Castillo, 2010)

El más importante Programa Internacional sobre Educación Ambiental que se tiene registro es el implementado por la UNESCO y auspiciada económicamente a través del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA-ONU) en el año 1975, denominado *“Programa Internacional de Educación Ambiental (PIEA)”.* Cuyo objetivo general consiste en “Introducir a los programas de estudio que se enfocan en pedagogía brindando conocimientos y materiales didácticos a niños, personas mayores y docentes”, (Rosales Romero, 2021), este programa consta de ocho fases que se muestran a continuación:

AÑO	ACCIONES
1975-1977	Seminario Internacional de Educación Ambiental en Belgrado (Carta de Belgrado)
1978-1980	Se establecieron conceptos de desarrollo y metodologías interdisciplinarias
1981-1983	Encuesta a nivel mundial a 81 países para la formación de docentes y supervisión de escuelas primarias y secundarias
1984-1985	Se dio énfasis a universidades, capacitación técnica como vocacional en la renovación de programas de educación escolar y extraescolar
1986-1987	Políticas públicas enfocadas al medio ambiente y conservación
1988-1989	Prototipo de materiales, fomento a las redes regionales y la actualización de base de datos de instituciones, proyectos y programas
1990-1991	Ayudar a los países que habían hecho este proceso y fomentar la divulgación
1992-1993	Fortalecer los objetivos sin resultados, puesto que están agotados

Tabla 1. Ocho fases del programa internacional PIEA y sus acciones.

Fuente. Elaboración propia.

Una vez concluido este programa en 1993, se consideró que el tema ambiental lo sobrepasa a la realidad *social*, por lo que el PNUMA deja de proporcionarle fondos a la UNESCO, significando la inminente transición de las demás vertientes del Desarrollo Sustentable para encontrar nuevas rutas de acción.

En el caso de México, al año siguiente 1994 surge una instancia alternativa de educación ambiental a través del Instituto Nacional de Ecología y la Secretaria de Pesca. Actualmente, se encuentra adherido a la Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales con el nombre de *Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable (CECADESU).* Esta instancia gubernamental busca *la conformación de una nueva conciencia ecológica pluralista para impulsar proyectos por la vida y crear un mejor planeta* (Naturales, 2019).

Dentro del CECADESU, existen acciones encaminadas a la creación de nuevas habilidades a diferentes instancias públicas y privadas, como se muestra a continuación:

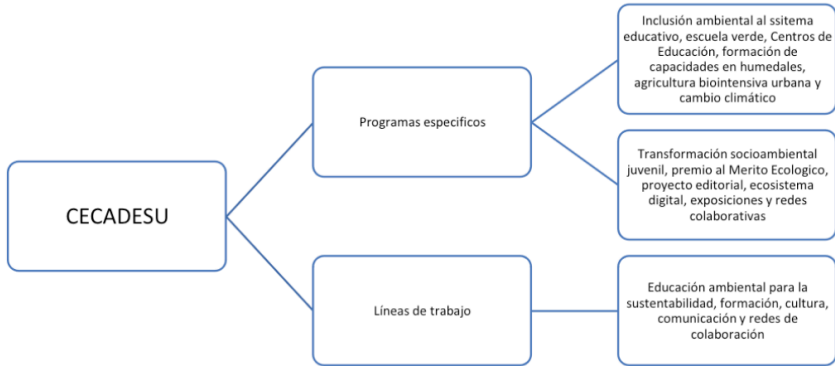



Figura 1. Líneas de trabajo y programas específicos del CECADESU.

Fuente. Elaboración propia.

En nuestro país, dentro de la iniciativa privada también contamos con asociaciones civiles que se encargan de difundir la educación ambiental y de promover cambios sustanciales fomentando la conciencia ecológica. Se pone de relevancia la *Académica Nacional de Educación Ambiental, A.C.* Esta instancia educativa señala que dentro de los años de 1993 al 2000 fluctuaban programas educativos de entre 293 hasta 1100. Esto, se permeo a las Universidades a través de proyectos de investigación de los educandos incentivándolos a realizar cambios estructurales a su entorno. (Naturales, 2019). *Galiano* considera que la educación ambiental debe fomentarse entre el ciudadano y su comunidad, considerando nuevas destrezas aplicadas en la toma de decisiones de manera particular o plural para la resolución de conflictos medio ambientales.

DISEÑO METODOLÓGICO DEL ESTUDIO DE CASO: PERCEPCIÓN UNIVERSITARIA FACULTAD DE DERECHO Y CIENCIAS SOCIALES SOBRE LA LAGUNA DEL CARPINTERO: METODOLOGÍA E INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

El objetivo general de la presente investigación es la de “Establecer la percepción universitaria del impacto producido por el cocodrilo de pantano (Crocodylus Moreletii) dentro de los docentes y educandos de la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales en la Laguna del Carpintero en Tampico, Tamaulipas para el fortalecimiento de la educación universitaria”

La hipótesis que impera en esta indagatoria versa en la siguiente máxima:

Identificando la percepción universitaria sustentable (social, económico y ambiental) que incide el cocodrilo de pantano (Crocodylus Moreletii) hacia el docente y educando en la Facultad de Derecho y Ciencias Sociales, se podrá transitar hacia el mejoramiento educativo ambiental.

Variables e indicadores que medir:

Impactos:

Social ⇒ Educación, cultura, COVID-19 y protección ciudadana

Económico ⇒ Trabajo, atracción turística y gastronomía

Ambiental ⇒ Protección de cocodrilos (Dirección de Ecología y Protección civil), población, nidos, reubicación y resiliencia

Dada las condiciones sanitarias que se presentan por razones del COVID-19, el equipo de trabajo estableció la formulación de un instrumento de medición con base a las Teorías de Sustentabilidad que se manejan a través de las vertientes en las áreas SOCIAL, ECONOMICA y AMBIENTAL. En la presente indagatoria se aplicaron los siguientes métodos de investigación:

- Exploratorio: Se identifican los indicadores a medir sobre la sustentabilidad del manejo del cocodrilo de pantano y el COVID-19.
- Análisis: La contrastación de datos duros sobre el resultado general de los in-

dicadores y variables.

- Síntesis, con este método se resaltarán con detalle los datos que resulten sobre la investigación estableciendo alternativas educativas para elevar la calidad de la información dentro de la Facultad.
- Observación, se observó con cuidado el seguimiento puntual de todos los fenómenos que surgieron de la investigación para establecer directrices y lineamientos que sirvan en el fomento al desarrollo sustentable de la Facultad.
- Inductivo en la obtención de información particular, se estableció la pertinencia de su aplicación en políticas educativas para su aprovechamiento general.
- Estadística, se construyen datos duros y se procesan en hojas de excel para el procesamiento de información en la aplicación de Microsoft 365 "FORMS", que es una herramienta institucional de nuestra Universidad.
- Cualitativo, se midió la percepción universitaria de los impactos que se presentan en el desarrollo sustentable del manejo del cocodrilo de pantano (Crocodylus moreletii), logrando obtener opiniones pormenorizadas de docentes y alumnos.
- Cuantitativo, se midieron los resultados de las encuestas en el procesamiento de datos duros en la propuesta de investigación.

Para obtener la percepción universitaria entre docentes y educandos se ha construido un instrumento de medición con 16 preguntas, dentro de la aplicación "FORMS", enfocado a indicadores que reflejen al desarrollo sustentable del manejo de la especie y en la protección de la ciudadanía (económico, social, ambiental). Agregándose un rubro sobre el COVID-19, dichos indicadores se pueden ver en la siguiente imagen. Las preguntas se convirtieron en dicotómicas (SI o NO), a efecto de procesar sus datos en una hoja de EXCEL, para derivarlos en datos duros que reflejen resultados definitivos del manejo de la información.

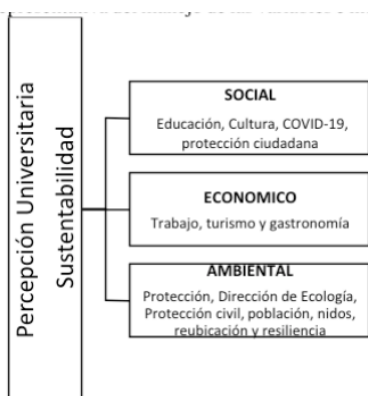



Figura 2. Muestra representativa del manejo de las variables e indicadores de la investigación.

Fuente. Elaboración propia.

Para la selección de la población se utilizó la muestra estratificada, a través del Coordinador del Servicio Social de los alumnos que se encuentran haciendo su servicio a instancias públicas y prácticas profesionales. Esta postura se explica dado que el artículo 9 del Reglamento de Servicio Social de la Universidad considera que en este periodo de formación del alumno, le permite desarrollar al prestador del servicio social una conciencia de solidaridad y compromiso con la sociedad a través de planes y programas del sector público, contribuyendo a su formación académica y profesional, por lo cual los jóvenes se encuentran en una etapa de empatía con las problemáticas que imperan en su entorno y son más susceptibles de dar una mejor opinión dada su madurez académica.

En la lista de alumnos de la Coordinación de Servicio Social se encuentran educandos de las seis carreras que conforman a la Facultad (Derecho, Ciencias de la Comunicación, Psicología, Turismo, Economía e Idioma Inglés). Se hizo un comunicado público a través del correo institucional de dicha área administrativa servsocialfadycs@uat.edu.mx, a efecto de que participaran en la encuesta. En el caso de los docentes, se solicitó su apoyo a través de los Coordinadores de carrera, éstos a su vez invitaron a los maestros a realizar la actividad académica correspondiente, y de manera aleatoria la realizaron, a través del siguiente enlace:

https://forms.office.com/Pages/ResponsePage.aspx?id=B7Nacny3Zk-RaDdrHH-ZkBO7rNvnr3BBrvZnHTXeOpJUMDVLTzc1TlpJMktDUFdKNzFITkhORTVENy4u

Continuando con la muestra, la población general de estudiantes es de 3,200 educandos en el periodo 2022-1. Por otro lado, la población docente de las seis carreras referidas con antelación consta de 235 profesores en el periodo 2022-1. La suma entre estudiantes y docentes es de 3,435 individuos, contestando la encuesta la totalidad de 465 integrantes de la comunidad universitaria, equivalente a un 13.5% considerándose ésta una muestra representativa de la percepción universitaria de la Facultad. Es de considerarse, además, que las mujeres prevalecen en el estudio con un 63% y los hombres con un 37% en el resultado de la encuesta. Así también, los individuos que denotan su participación en el presente estudio se ubican en el rango de 18 a 35 años con un 77%, por lo cual los jóvenes imperan en sus opiniones sobre esta temática en particular.

PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL MANEJO DE LA ESPECIE.

Social

Dentro de la variable *Social* se encuentran diversos indicadores a medir (Educación, cultura (pinturas e imágenes), COVID-19 (avistamientos), protección ciudadana). Se destaca la postura universitaria desconociendo del tema referente a la cultura con un 81%, seguido de la carencia de Educación ambiental con un 73%. En este rubro es menester,

hacer hincapié de la evidencia tacita de la carencia de conocimiento sobre el tema es precisamente donde se requiere darle una mayor atención, por medio de mecanismos académicos que sirvan para subsanar y mitigar dicha deficiencia. La postura de la escuela sobre estos grandes retos constituye una gran área de oportunidad en la construcción de políticas educativas al interior de los programas de estudio de todas las áreas del conocimiento.

Indicadores	SOCIAL %	
	+	-
Educación	27	73
COVID-19	31	69
Protección ciudadana	42	58

Tabla 2. Resultados generados en sustentabilidad social.

Fuente. Elaboración propia.

Es importante considerar, que, dentro de la *Cultura* de los pueblos, inciden prácticas que determinan su identidad. La manera de expresarse a través de medios gráficos, plásticos, electrónicos, interpretados éstos en foros públicos o privados a través de museos, muestras al aire libre como se puede observar en la siguiente tabla. Los educandos y docentes reflejan esta óptica en su percepción por la visita o conocimientos de lugares que ejemplifican su postura.

	PERCEPCIÓN
CULTURA	√ Laguna del carpintero (señalizaciones, carteles de advertencia, √ Artistas de grafiti: pintado de cocodrilos √ Canal de la Cortadura: Pintura tridimensional √ SOS Cocodrilos √ Escuelas √ Casa de la naturaleza (pintura y fotografía) √ Casa de Cultura (exposiciones) y Museo Metropolitano √ Redes Sociales y periódicos √ Barco Museo del niño: pláticas para niños √ Otros lugares: - Veracruz: Granja de cocodrilos, Chiapas: zona lagunera, Mante, Instituto de Ecología de la UNAM, Ciudad Victoria: Zoológico de TAMATAN, CDMX: Estaciones del metro, Florida State University, COBEA, Biosfera del Cielo, New Orleans

Tabla 3. Percepción sustentable dentro de la cultura universitaria.

Fuente. Elaboración propia.

Económico

Con referencia a la variable *Económica* cuyos indicadores son (Trabajo, atracción turística, gastronomía (alimento o platillo). La percepción del trabajo que se genera por medio del manejo de los cocodrilos, los universitarios consideran que desconocen en un 93% las posibilidades laborales que se emiten por este rubro. Por otro lado, la atracción

turística que se deriva de la explotación de la especie se podría considerar obvia la que se genera en la Laguna del Carpintero en sus pasajes turísticos dentro del mirador de cocodrilos, puente peatonal, así como en su entorno limítrofe. No obstante, solo un 49% de los encuestados perciben este indicador, desconociendo en un 51% alguna actividad que predomine en la parte económica, tal como se muestra en la siguiente tabla.

ATRACCIÓN TURISTICA	PERCEPCIÓN
	√ Mirador de los cocodrilos, puente peatonal y jardín de las artes dentro de la Laguna del carpintero √ Recorrido en lancha dentro del Canal de la Cortadura en Tampico √ Museos √ Otros lugares: Veracruz, Mante, Presa Vicente Guerrero, TAMATAN, Florida (espectáculos), New Orleans

Tabla 4. Percepción sustentable sobre el manejo turístico de la especie.

Fuente. Elaboración propia.

Con referencia al indicador sobre *gastronomía*, contamos que la comunidad universitaria desconoce el tema en un 64%, y un 26% de la población solo tiene conocimiento acerca de la elaboración de un pan dulce en la comunidad local; existen además otras percepciones aisladas como las señaladas en la siguiente tabla.

GASTRONOMÍA	PERCEPCIÓN
	√ El Juancho es un pan dulce (cajeta y mermelada de piña) √ Pan de baguettes o conchas en forma de cocodrilos √ Pan de mantequilla con forma de cocodrilo √ Hielitos de sabores de nombre *"juanchitos"* √ Dulces y nieve √ Quesadillas en forma de cocodrilos los venden en la playa Miramar √ Gaspachos √ Jugo de naranja con la imagen de Juancho √ Torta con su nombre √ Torta en forma de cocodrilo (trompo y arrachera) Con base a la carne de cocodrilo: √ Estofado √ Tamales √ Cocodrilo al carbón √ Otros lugares: Loussiana en Estados Unidos (Comida Cajún), Quintana Roo y Tabasco (comida exótica), New Orleans (cocodrilo frito), Chocolate en forma de lagarto (no local) sino nacional

Tabla 5. Percepción sustentable sobre los alimentos derivados de la especie.

Fuente. Elaboración propia.

Ambiental

Ambiental (Protección de cocodrilos (dirección de ecológica, protección civil) ubicación de nidos, reubicación, resiliencia de la especie). Existe un desconocimiento en un 96% de la comunidad universitaria de la cantidad de población de la especie que predomina en la zona de la Laguna del Carpintero, así como su reubicación en sus nidos, seguida de

su protección y reubicación del recurso (87%), así como las acciones realizadas por parte de la Dirección de Ecología, como se puede apreciar en la siguiente tabla de referencia. Esta es una gran área de oportunidad que tienen nuestras autoridades municipales de realizar acciones directas en la protección del medio ambiente y su difusión, mostrando resultados evidentes de esto.

Indicadores	AMBIENTAL %	
	+	-
Protección a los cocodrilos	13	87
Dirección de ecología	14	86
Protección civil	30	70
Población y nidos	4	96
Reubicación	13	87
Resiliencia de la especie	45	55

Tabla 6. Resultados generados en sustentabilidad ambiental.

Fuente. Elaboración propia.

Se estableció un apartado especial donde los universitarios podían externar aportaciones inherentes a realizar cambios estructurales dentro de nuestra realidad local. Derivado de esto, surgen temas interesantes que apoyan de manera puntual la premisa de investigación, mismas que se pueden apreciar en el siguiente condensado.

PERCEPCION UNIVERSITARIA	ACCIONES √ Fomentar a la Educación Ambiental las personas se comportan de manera irrespetuosa con las especies y el medio ambiente, en todos los niveles escolares, turismo y público en general √ Ubicar personas con mayores conocimientos sobre el manejo del recurso e investigar un lugar adecuado para su reubicación √ Bardear por completo el perímetro de la Laguna del Carpintero con mayor señalización en la Laguna √ Construir infraestructura más eficiente para la protección de las personas y establecer un mayor control y cuidado de la población de la especie √ Crear UMAS (Unidad de Manejo Ambiental) para el control de la especie, evitando así destruir su hábitat para que no invadan las áreas pobladas √ Aplicación de multas y difusión de la especie (características, advertencias, medidas de prevención, manejo de situaciones y números de contactos) √ El gobierno se involucre y de seguimiento, estableciendo medidas de seguridad del entorno humano y divulgue sus leyes para su protección √ Divulgación en televisión regional o radio sobre los cocodrilos de la zona, exposiciones o talleres, fomentando su información en las Redes Sociales y medios de comunicación √ Trabajo coordinado con el gobierno, instituciones académicas, zoológicas y de investigación para su manejo y monitoreo √ Censo, ubicación de nidos en la capacitación a las instituciones públicas para su manejo como la Dirección de Ecología y Protección civil y dar difusión a sus acciones destinando dinero para su alimento y cuidado √ Proporcionar a las personas indigentes servicios públicos de regaderas, baños y áreas para lavar evitando así que vayan a la Laguna √ Evitar contaminar y lastimar a los cocodrilos con objetos punzocortantes, hacer visitas guiadas por expertos √ Donación Acuarios y Zoológicos dentro y fuera del país, generando campañas de esterilización y concientización √ Otorgar permisos de caza y aprovechar su piel y carne, así como poner señalizaciones en caso de accidentes con los cocodrilos √ Eliminarlos en tu totalidad de la Laguna del Carpintero para la elaboración de artículos con su piel √ Una queja sobre el "resguardo ilegal" de cocodrilos dentro de casas ya que no son mascotas √ En otros lugares: En *Villahermosa-Tabasco* la población está más enterada de su manejo; Generar una identidad (*Florida-Gators*) o en la región de los *Grandes Lagos en Estados Unidos*

Tabla 7. Recomendaciones Universitarias sugeridas en el estudio de caso.

Fuente. Elaboración propia.

CONCLUSIONES

Recientemente el Señor CP. Guillermo Mendoza Cavazos, en su calidad de Rector de la Universidad Autónoma de Tamaulipas, ha dado difusión de un *Nuevo Modelo Educativo,* (Tamaulipas, 2022) en donde centra sus esfuerzos al educando como un *ser que aspiramos formar* con base a cuatro ejes fundamentales que requiere para tal efecto. Estos son los Modelos de enseñanza y aprendizaje, contando con ejes transversales de suma importancia como lo es la *Responsabilidad Social* (RSU) así como una *cultura de innovación y emprendimiento* dentro de sus acciones. Enfocadas estas, a nuevas acciones en la *comunidad estudiantil*, centrando su enfoque al *diseño curricular* de los planes y programas de estudio dentro de las diferentes modalidades curriculares incidiendo en las

necesidades del campo laboral de la zona. Con un *cuerpo docente* que realice actividades de investigación colegiada sobre su propia docencia, priorizando la práctica sobre la teoría, en donde se encuentren los esfuerzos liderados por una eficaz *Gobernanza Universitaria*.

Bajo este orden de ideas, dentro del Programa de Estudios de la carrera de Licenciado en Derecho de esta Universidad se encuentra una materia denominada *Legislación Ambiental*. Esta se ubica en la malla curricular como *optativa*. Sin embargo, con base a los resultados de la presente investigación, se sugiere convertirla en *materia obligatoria,* fomentando así la innovación del conocimiento sobre el desarrollo y sustentabilidad de sus conocimientos sustantivos y adjetivos con la que cuenta en la actualidad en la protección y defensa al medio ambiente. Se propone realizar trabajos conjuntos con las diferentes Facultades de Derecho que conforma nuestra Universidad, en la unión de esfuerzos y voluntades para modificar la Unidad de Enseñanza Aprendizaje (UEA) integrándose prácticas de campo en la realización de Proyectos de investigación y demás actividades que fortalezcan *el ser que aspiramos formar* como lo dicta el nuevo Modelo Educativo

Bajo esta misma perspectiva se encuentra otra materia como es el *Derecho Energético*, que cuenta con conocimientos especializados en el manejo de la ley en asuntos de energías renovables (eólica, solar, geotérmica, azul, biomasa entre otras, así como las *no renovables* (petróleo, carbón, gas natural (gas lutitas), etc). Misma que amerita la realización de proyectos de investigación y actividades académicas de campo (viajes de estudio, visitas guiadas, practicas preprofesionales en recintos públicos, etc.) que fortalezcan la expertiz de este conocimiento especializado. Esto, se debe permear en los programas educativos de las diferentes carreras que conforman las licenciaturas que se ofertan en cada campus.

A manera de conclusión, existen revisiones voluntarias que generan una credibilidad en el trabajo de los Objetivos del Desarrollo Sustentable, al interior de las Universidades, esto, por medio de mecanismos que permiten progresos nacionales en la toma de decisiones sobre políticas sostenibles firmes ante el *Foro Político de Alto Nivel sobre el Desarrollo Sustentable de la ONU*. Un ejemplo lucido es el realizado por Universidad de California, Davis (UC Davis), estos esfuerzos hacen alianzas con individuos y proyectos en la búsqueda de colaboraciones para un intercambio de acciones en pro a los ODS, motivando transformaciones conjuntas. Sus resultados conllevan a nuevas oportunidades de participación por medio de encuestas en línea, foros y conversaciones. (Unidas, ONU: Impacto Ambiental, 2022). En la Universidad Autónoma de Tamaulipas se está trabajando sobre este sector a través de la Dirección de Sustentabilidad de la Secretaria de Investigación y Posgrado, por lo que las Facultades que la conforman están en el deber de realizar trabajos conjuntos que impulsen los Objetivos del Desarrollo Sustentable en este caso el ODS-4 sobre la educación de calidad.

REFERENCIAS

Bravo Saucedo, M. J., Ramos Ródriguez, M., & Covarrubias, P. (2019). Tutorial: Una revisión del enfoque Ecologico de Gibson sobre la percepción visual. *Revista Mexicana del Analisis de la Conducta, 45*(2), 261-273. doi:10.5514/rmac.v45.i2.75565

Gutierrez Garza, E. (2007). De las teorias del desarrollo al desarrollo sustentable. Historia de la construcción de un enfoque multidisciplinario. *Trayectorias, IX*(25), 45-60. Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/607/60715120006.pdf

Gutiérrez Nájera, R. (Enero-Abril de 1996). El desarrollo sustentable: un camino a seguir. *El espiral, II*(5), 197-227. Recuperado el 1 de Agosto de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/138/13820509.pdf

Lara Arzate, J. (12 de enero de 2021). *Gobierno de México*. Obtenido de Blog Educación ambiental. Los retos de la Educación ambiental en México: https://www.gob.mx/semarnat%7Ceducacionambiental/articulos/los-retos-de-la-educacion-ambiental-en-mexico

Martínez Castillo, R. (enero-junio de 2010). La importancia de la educación ambiental ante la problemática actual. *Revista Electrónica Educare, XIV*(1), 97-111. Recuperado el 1 de Agosto de 2022, de https://www.redalyc.org/pdf/1941/194114419010.pdf

Naturales, S. d. (2019). *CECADESU.* Obtenido de SEMARNAT: Educación ambiental: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/598415/9-Cecadesu-MediaKit.pdf

Rosales Romero, S. (2021). Principios y enfoques de la formación ambiental. En J. A. Orendain Caldera, *La formación ambiental: sujetos, discursos y propuestas en la educación* (págs. 49-78). Ciudad de México: La Zonámbula. Obtenido de https://www.anea.org.mx/_files/ugd/1db713_5dc4b81ea58c48e2ac94c3e0dbe41c64.pdf

Tamaulipas, U. A. (11 de Julio de 2022). Videos UAT. *Modelo Academico UAT*. (FACEBOOK, Ed.) Victoria, México. Recuperado el 31 de Agosto de 2022, de https://www.facebook.com/UATmx/videos/730804864873892/

Unidas, N. (2020). *Objetivos del Desarrollo Sostenible*. Obtenido de ODS-4 Educación de calidad: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/

Unidas, N. (18 de marzo de 2022). *ONU: Impacto Ambiental*. Obtenido de Impulsar los ODS en los recintos universitariosy más allá: Universidad presenta su revisión voluntaria: https://www.un.org/es/impacto-acad%C3%A9mico/impulsar-los-ods-en-los-recintos-universitarios-y-m%C3%A1s-all%C3%A1-universidad-presenta-su

Valenzuela Argüelles, R. (1 de abril de 2013). *Revista Digital Universitaria. UNAM.* Obtenido de Las redes sociales y su aplicación en la educación: https://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art36/art36.pdf

Velásquez Monroy, B. R., Salazar Dávila, M. R., Estrada Calderón, D. N., Aldana Torres, J. M., Morales Díaz, K. L., Castañeda Torres, C. E., & Noguera Paz, K. C. (2021). Teoría del aprendizaje conectivista, sobresaliente del siglo XXI. *Revista Ciencia Multidisciplinaria CU-NORI, 5*(1), 141-152. doi:https://doi.org/10.36314/cunori.v5i1.159

RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS – IDENTIFICANDO ÁREAS PRIORITÁRIAS PARA SERVIÇOS HIDROLÓGICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO JOÃO LEITE – GOIÁS

Data de aceite: 03/07/2023

Mariane Rodrigues da Vitória
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás

Klaus de Oliveira Abdala
Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Goiás

RESUMO: Este artigo analisa a modelagem de serviços ecossistêmicos hidrológicos na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite em Goiás. Para tal foi utilizado os modelos InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs), ferramenta que integra métodos conceituados da literatura científica, como a equação universal da perda de solo (USLE) e o sistema solo-agua-atmosfera-planta (SWAP), dentre outros, a fim de simular o fluxo de sedimentos em três cenários anterior, durante e posterior ao Programa Produtor de Águas – Ribeirão João Leite (2009, 2011 e 2017). Através do modelo InVEST foi possível identificar as sub-bacias que apresentaram maior produção e exportação de sedimentos, ao longo dos cenários. Sendo a modelagem hidrológica uma importante ferramenta na identificação dos tradeoffs de uma política ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Modelagem hidrológica, USLE, Bacia hidrográfica.

ABSTRACT: This article analyzes the modeling of hydrological ecosystem services in the Ribeirão João Leite watershed in Goiás. For this purpose, the InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) models were used, a tool composed of well-regarded methods from the scientific literature, such as the universal equation of soil loss (USLE), in order to simulate the sediment flow in three scenarios before, during and after the Water Producer Program – Ribeirão João Leite (2009, 2011 and 2017). Through the InVEST model, it was possible to identify the sub-basins that presented greater production and export of sediments, along the scenarios. Hydrological modeling is an important tool in identifying tradeoffs.

KEYWORDS: Hydrological Modeling, USLE, Hydrographic Basin.

1 I INTRODUÇÃO

A água é elemento essencial para a existência e para o desenvolvimento dos seres vivos. Ela exerce influência direta no comportamento cotidiano da população e

até nas estratégias de desenvolvimento das sociedades (Mazoyer; Roudart, 2008). Além de catalisadora do desenvolvimento econômico e social, a água também é capital natural e, portanto, elemento essencial para a produção de serviços ecossistêmicos (Costanza, 2003). Devido à sua condição de essencialidade à produção da existência, a água constitui, ainda, um dos maiores desafios de nossa época, protagonizando diversas formas de conflito, a depender de sua disponibilidade e localização geográfica. Segundo Rebouças (2004), durante milênios, a água doce foi considerada um recurso infinito, entretanto, o aspecto contraditório dessa realidade encontra-se na distribuição desse recurso.

A água vem se tornando um recurso geopolítico estratégico em função das utilidades vitais (JARDIM, 2011). Mesmo com a reconhecida importância ecológica, econômica e social, esse recurso tem se tornado cada vez mais escasso nos últimos anos (LANNA,2008). Parte desse problema se deve à diferentes níveis de precariedade no planejamento e gestão das bacias hidrográficas, materializando-se no uso indiscriminado dos recursos hídricos, no desmatamento de nascentes e na poluição dos rios e lagos (TUNDISI, 2005). Nesse sentido, uma diversidade de propostas de programas de gerenciamento de bacias hidrográficas, incluindo gerenciamento integrado destas bacias, e até o pagamento por serviços ambientais, estão emergindo como possíveis mitigadores destes conflitos (BREMER, AUERBACH, ET AL., 2016; SALZMAN ET AL., 2018 , BREMER, 2019).

O Ribeirão João Leite é um dos três principais mananciais de abastecimento de água da cidade de Goiânia, capital do estado de Goiás, esse corpo hídrico vem sendo degradado ao longo dos anos, principalmente devido ao inadequado uso do solo, ocupação desordenada e redução da cobertura vegetal (NASCIMENTO, 1998).

Assim, a preservação desse corpo hídrico passa pela compreensão de que sua existência está relacionada a uma complexa rede de interações ecológicas responsável pela produção de funções ecossistêmicas. Essas funções são fundamentais para a manutenção do bem-estar da sociedade, uma vez que são responsáveis pela criação de um conjunto de bens e utilidades às comunidades usuárias. Dentre estes bens, podemos destacar os serviços ecossistêmicos de provisão, que são os produtos obtidos dos ecossistemas (alimentos, água, fibras, recursos genéticos), os serviços de regulação, que são os benefícios obtidos pela regulação de processos ecossistêmicos (regulação do clima, regulação hídrica e controle de doenças) e os serviços culturais, que podem ser definidos como o aumento da área verde (ARAÚJO,2018).

Neste sentido, melhorar a qualidade, a quantidade produzida e a regularidade da água, por meio da redução de sedimentos carreados aos corpos hídricos em bacias hidrográficas degradadas por atividades agrícolas – caso da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, são importantes objetivos políticos, por se tratar de um bem público.

Quando iniciativas antrópicas são responsáveis pela manutenção, produção ou regulação de funções ecossistêmicas, tais iniciativas são denominadas na literatura, serviços ambientais (Garcia; Romeiro)

Assim, várias ações e projetos e instrumentos têm sido implantados no Brasil e no mundo, a fim de estimular a produção de serviços ambientais visando mitigar o cenário de degradação ambiental através de políticas públicas agroambientais. Um desses instrumentos que tem se destacado na gestão em recursos hídricos é denominado Pagamento por Serviços Ambientais (PSA). Exemplo disto é o Programa Produtor de Águas (PPA) da Agência Nacional de Águas (ANA), que tem como objetivo a redução de processos erosivos em áreas agrícolas e a recuperação de mananciais (ANA, 2009). Ainda de acordo com a ANA, tal programa parte de um modelo de tomada de decisão que leva em consideração os diversos aspectos econômicos, sociais e ambientais na área de interesse, utilizando instrumentos de mercado para produzir estímulos positivos no comportamento dos agentes responsáveis pelas alterações das funções ecossistêmicas.

Além da recuperação da área degradada, tal ação traz como vantagem a compensação por essa terra que fica ociosa (além dos benefícios ambientais, como a melhora da qualidade do solo e, consequentemente, o aumento na produção de água). Essas vantagens beneficiam desde o produtor – que não arca com nenhum custo para a implantação do Programa– à população, como o caso da Região Metropolitana de Goiânia (RMG), a qual faz uso da água de abastecimento da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

2 | METODOLOGIA

2.1 Localização e caracterização da área de estudos

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (BHJL) (Figura 1). O Ribeirão João Leite é um dos três mananciais de abastecimento de água da cidade de Goiânia (NASCIMENTO, 1998). A BHJL abrange os municípios de Campo Limpo de Goiás, Ouro Verde de Goiás, Terezópolis de Goiás, Nerópolis, Anápolis, Goianápolis e Goiânia (SOUSA, 2013). Ocupando uma área de cerca de 761 km² (76.100 hectares), o reservatório possui uma área de 14 Km² de espelho d'água, recentemente incorporado ao sistema de captação de Goiânia, que antes não respondia à demanda de água exigida pela metrópole em franca expansão.

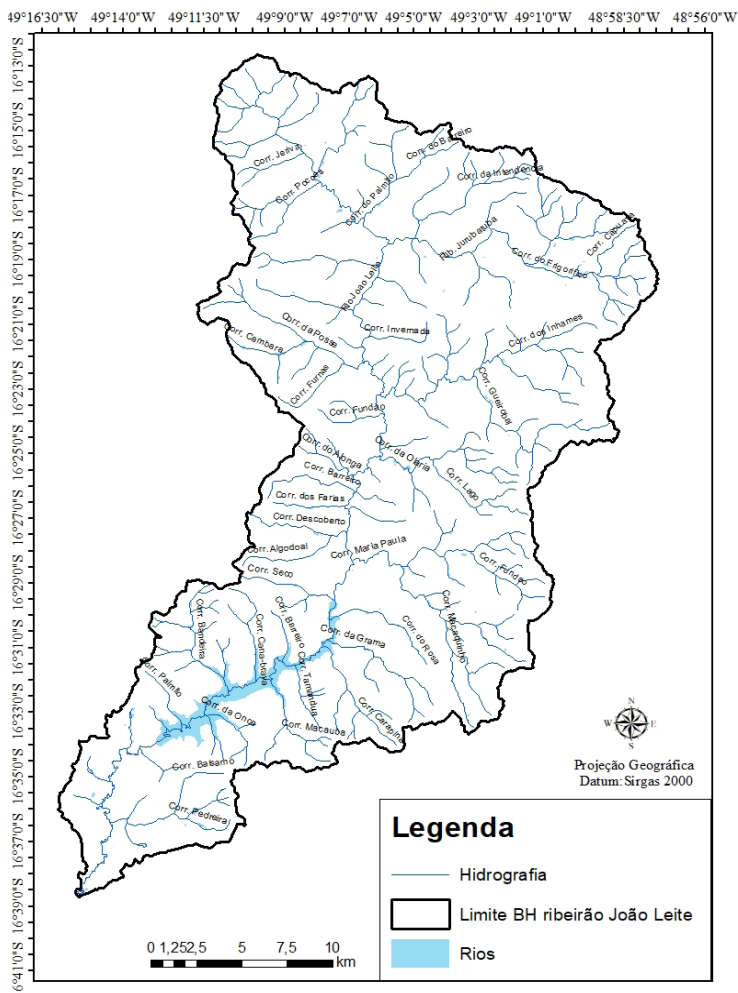



Figura 1: Delimitação bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

2.2 Metodologia adotada

A metodologia consistiu em aplicar o modelo SDR do Natural Capital Project, InVEST um software livre e de código aberto que utiliza um conjunto de modelos para representar e valorar serviços ecossistêmicos.

O objetivo do modelo de entrega de sedimentos é reproduzir os elementos e parâmetros responsáveis pela geração e carreamento de sedimentos por via terrestre para o fluxo terminal (cursos hidrográficos) em um contexto de mudanças de uso/cobertura da terra e eventos climáticos diversos. Tais informações podem ser usadas para simular o serviço de retenção de sedimentos em uma bacia hidrográfica e são de particular

interesse para a gestão de reservatórios – que tem como objetivo desde a qualidade até a quantidade de água disponível para consumo – além de fornecer parâmetros que podem ser economicamente valorados.

As saídas do modelo de sedimentos incluem a carga de sedimentos enviada à corrente em uma escala de tempo anual (Figura 3), bem como a quantidade de sedimentos erodidos na bacia e retidos pela vegetação, bem como suas características topográficas. Deve-se ter em mente que o modelo gera apenas resultados biofísicos, a partir dos quais é possível atribuir outras escalas de valores, como o econômico, social, político, etc.

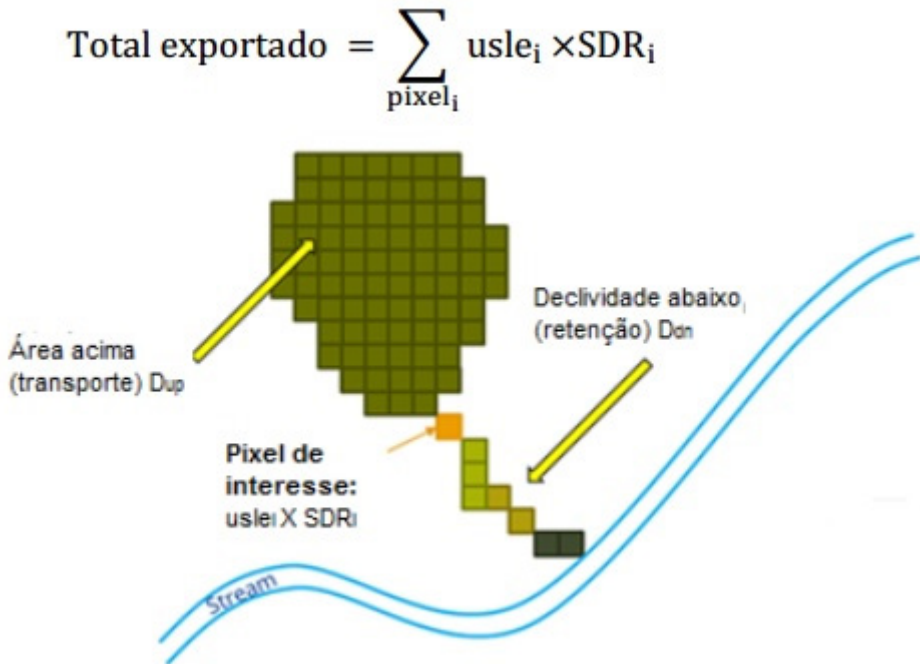



Figura 2: Abordagem conceitual proposta por Borselli et al., (2008), utilizada no modelo de exportação de sedimentos.

Fonte: SHARP et al., (2016).

A perda de solo anual no pixel i, é obtida por meio da equação universal de perda de solo ($USLE_i$), conforme a Equação 1 (SHARP et al., 2015).

$A = RxKxLSxCxP$ Equação 1

Sendo,

A= perda de solo, em [ton.(ha..ano)-1]; R= fator erosividade da chuva, em [(MJ. mm). (ha. h. ano)-1]; K= fator erodibilidade do solo, em [(ton. h.). (MJ..mm)-1)]; LS= fator topográfico, integração do fator L, comprimento de rampa, e o fator S, declividade [adimensional]; C= fator uso e manejo do solo [adimensional]; e P= fator práticas conservacionistas [adimensional].

2.3 Dados de entrada (Sediment delivery model – SDR)

Diferente de outros modelos o InVEST requer um número baixo de parâmetros e habilidades de modelagem relativamente baixas (HAMEL,2020). Os dados de entrada utilizados para o estudo foram escolhidos de acordo com o requerido pela interface do InVEST *versão 3.2.2*. Para o modelo SDR, os dados de entrada foram (Tabela 1):

DADOS DE ENTRADA	FORMATO	FONTE	DESCRIÇÃO
Modelo Digital de Elevação (MDE)	Raster	Earth Explorer	Mapa raster com o valor de elevação para cada célula.
Índice de Erosividade da Chuva (R)	Raster	Almeida (2015)	Mapa raster com o valor do índice de erosividade para região (MJ mm ha-1 h-1 ano-1).
Erodibilidade do Solo (K)	Raster	Almeida (2015)	Mapa raster com o valor de erodibilidade (Mg ha h MJ-1 mm-1) para cada tipo de solo.
Uso e Cobertura do Solo	Raster	MapBiomas	Mapa raster com os usos e coberturas da região de estudo.
Bacias Hidrográficas de Interesse (Watersheds)	Shapefile	Elaborado pela autora	Mapa com a delimitação das sub-bacias hidrográficas, que serão analisadas quanto à produção e retenção de sedimentos para um determinado ponto de interesse.
Tabela Biofísica C/P	Arquivo CSV	Literatura específica	Tabela com os usos e coberturas dos solos com seus respectivos fatores relativos ao potencial de retenção de sedimentos e referidas práticas conservacionistas.

Tabela 1: Relação de dados a serem inseridos no software InVEST para a predição, produção e retenção de sedimentos. Fonte: Elaborado pelo autor.

Além dos dados de entrada anteriores o modelo requer alguns parâmetros de calibração que são a relação máxima do aporte de sedimento ($SDR_{máx}$), os fatores de calibração k e IC0 e o limite de acumulação de fluxo (Threshold flow accumulation).

Segundo Zanella (2016) e Maidment (2002), no caso de MDE, com células de dimensões de 30 metros, o valor típico para o Threshold flow accumulation é de 5000.

Em relação aos fatores k e IC0, foram utilizados valores conforme indicados por Vigiak et al., (2012), Jamshidi et al., (2013) que adotaram IC0 de 0,5 e k de 2, os autores afirmaram que estes valores foram os ideais para a calibração, com coeficiente de eficiência do modelo da ordem de 97%.

Já a relação do aporte de sedimento máxima ($SDR_{máx}$) corresponde ao valor máximo que uma célula pode atingir em função da textura do solo, foi aplicado seu valor padrão de 0,8 – principalmente quando não existem estudos detalhados do transporte de sedimento da região de interesse Natural Capital Project, 2020[1].

1 https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

O modelo, estimou inicialmente a quantidade de sedimento erodido ($USLE_i$), em seguida, o sedimento exportado (SDR_i) que é a proporção de perda de solo que realmente alcança o exutório da bacia.

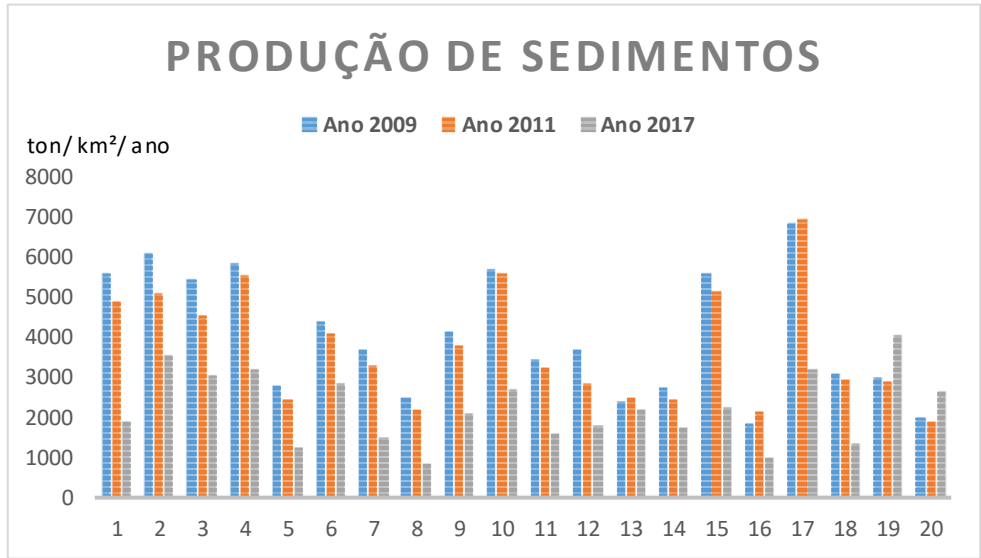



Figura 3: Estimativa de produção de sedimentos (USLE), por microbacia.

Fonte: Elaborado pelos Autores.

De acordo com a classificação realizada durante o trabalho a classe de maior representatividade na bacia hidrográfica foi a pastagem (39,16%) seguida de área de floresta (29,67%) e por fim agricultura (15,32%) perímetro urbano (3,31%) e rios (1,88%).

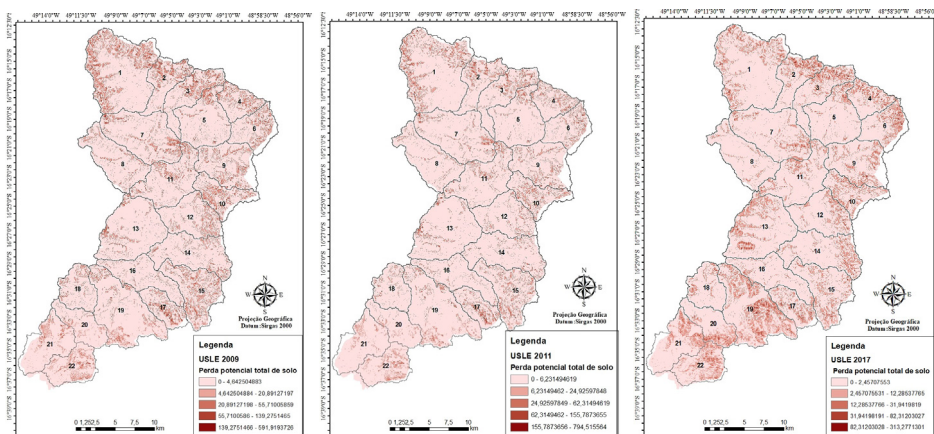
A pastagem apresenta um papel importante no planejamento ambiental para fins de controle de erosão, fornecendo boa proteção ao solo contra processos erosivos, desde que não esteja degradada. Sendo o ressemeio periódico da área, correção de solos e adubação, práticas recomendáveis para manter a pastagem com densidade de cobertura capaz de assegurar suporte para o gado e garantir a presença desse fundamental escudo natural (PRUSKI et al., 2009).

Áreas de floresta, por sua vez, protegem o solo e captam a água da chuva, facilitando o processo de infiltração pela passagem lenta por seus ramos, troncos e raízes, melhorando a recarga do lençol freático (KAZAY, 2014).

Com o objetivo de assegurar a qualidade da água no manancial, a bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, foi transformada em uma Área de Preservação Ambiental (APA), pelo decreto nº 5.709, o que arbitrou à área, composta majoritariamente por propriedades privadas, uma série de restrições à utilização das terras, principalmente no que diz respeito

ao parcelamento do solo, irrigação e utilização de agrotóxicos (SEMARH, 2007). Assim a bacia, agora gerenciada pelo plano de manejo da APA, tem como um dos objetivos principais conter a poluição do solo e dos recursos hídricos por meio da restrição do uso de agrotóxicos. Porém, as terras pertencentes à bacia desempenham importante papel no abastecimento de hortifruti na Grande Goiânia respondendo, em 2010, por cerca de 35% da oferta destes ítens, além de ser região tradicionalmente utilizada para pecuária, sendo coberta por extensas áreas de pastagens (SOUSA, 2013).

Além das estimativas quantitativas, o modelo também disponibilizou produtos cartográficos, possibilitando uma inspeção visual de possíveis pontos de intervenção (Figuras 4,5 e 6).

Figuras: 4-5-6 - Identificação de possíveis áreas prioritárias modelo SRD InVEST cenários (2009,2011,2017).

Fonte: Autores.

De acordo com a EMATER-GO, pretende-se implantar o Programa Produtor de Água Ribeirão João Leite, em toda a sua extensão, com uma média de 700 produtores rurais aderindo ao programa, porém, devido ao alto custo relativo ao financiamento do programa, a alternativa seria a priorização das sub-bacias que apresentassem maior grau de degradação. Desta forma, modelos hidrológicos poderiam contribuir na identificação dos tradeoffs, ou seja, a definição de uma situação de escolha conflitante, isto é, quando uma ação econômica visa à resolução de determinado problema e acarreta outros (CALLAN & THOMAS, 2013). Como exemplo, a conversão de áreas naturais, com fins econômicos em detrimento à provisão de serviços ecossistêmicos dessas áreas convertidas e adjacentes. Além disso, permite gerar estimativas e analises de escala “sustentável”, “possível” ou “aceitável” de uso dos recursos naturais. Essas informações podem fornecer subsídios para uma gestão mais adequada do capital natural em contexto de bacias hidrográficas,

uma vez que permitem identificar as áreas provedoras e beneficiadas pelos serviços ecossistêmicos (GARCIA e ROMEIRO, 2013; AZEVEDO, 2017).

4 I CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo exploramos a modelagem hidrológica como ferramenta de tomada de decisão em projetos de PSA hídrológico, como o Programa Produtor de Águas Ribeirão João Leite,. Estudos que indiquem áreas prioritárias para as intervenções, ou seja, aquelas que estão mais suscetíveis à erosão hídrica e ao transporte de sedimentos para o corpo hídrico, são de extrema importância para a validação e continuidade de programas de gestão hídrica, uma vez que a eficiência do uso dos recursos públicos é um dos princípios que regulamentam tais serviços.

De acordo com a ANA(ano?) um dos grandes desafios de projetos, como o Produtor de Águas, é a captação de fontes de financiamento para PSA, além da validação dos resultados do projeto. Desta forma, há uma demanda crescente por modelos hidrológicos que possam fornecer informações de forma simples e acreditadas e que permitam analises econômicas. Este trabalho utilizou o modelo InVEST para estimar o fluxo de sedimentos em diferentes cenários (2009, 2011, 2017), a fim de analisarmos a resposta do modelo frente as práticas conservacionistas.

Desta forma, a modelagem executada foi capaz de demonstrar alterações na perda de solo ao longo dos cenários, permitindo auxiliar em um melhor entendimento das relações entre uso do solo e qualidade dos recursos hídricos na bacia em estudo.

Porém, se reconhece uma fragilidade acerca da estimativa da perda de solo, já que o presente trabalho não envolveu uma calibração explícita. Sendo a validação do modelo sugerido como tema de trabalho futuro.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. **Programa Produtor de Água.** Manual operativo. 2009.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS-ANA. WEBINAR ANA - **Programa Produtor de Água: Desafios e Perspectivas**. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=8xUkkGvBYJw>. Acesso em: maio. 2020.

ALVES Ferreira Júnior, Wilton. **Consórcio intermunicipal da APA do ribeirão João Leite**. 2014.

ARAÚJO, Isailma da Silva. **Identificação e valoração de serviços ecossistêmicos no Parque das Dunas**, Natal-RN. 2018. Dissertação de Mestrado. Brasil.

BORSELLI, L., Cassi, P., Torri, D., 2008. **Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment**. Catena 75, 268–277.

BREMER, L. L., Auerbach, D. A., Goldstein, J. H., Vogl, A. L., Shemie, D., Kroeger, T., et al. (2016). **One size does not fit all: Natural infrastructure investments within the Latin American water funds partnership**. Ecosystem Services, 17.

BREMER, Leah L. et al. **Who are we measuring and modeling for? Supporting multi-level decision-making in watershed management**. Water Resources Research, p. e2019WR026011, 2019.

BIDDLE, J. C. (2017). **Improving the effectiveness of collaborative governance regimes: Lessons from watershed partnerships**. Journal of Water Resources Planning and Management, 143(9), 1–12.

BUMA, Eni Liudmiliza Leite et al., **Identificação e distinção de fonte de poluição fecal na Bacia hidrográfica Ribeirão João Leite, por metodologias moleculares**. 2017.

CARVALHO, C. E. (2005). **Desenvolvimento de Procedimentos e Métodos para Mensuração e Incorporação das Externalidades em Projetos de Energia Elétrica: uma aplicação às Linhas de Transmissão Aéreas**. Tese de Doutorado em Engenharia. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil.

CONCEIÇÃO, José Roberto da. **Metodologia para identificação de áreas prioritárias para redução da erosão hídrica em bacias de mananciais de abastecimento público do Paraná: Estudo de caso bacia do Passaúna.** 2017.

COSTA, Ana Lúcia Carneiro da. **Estudo da vulnerabilidade à erosão com a aplicação da Equação Universal de Perda de Solo na Alta Bacia hidrográfica do Rio Jacaré Pepira, utilizando SIG/SPRING**. 2005.

CHAVES, H. M. L. **Avaliação econômica e socioambiental do retorno do investimento da implantação do projeto produtor de água na bacia do ribeirão Pipiripau (DF/GO).** Relatório de consultoria preparado para o The Nature Conservancy do Brasil – TNC, contrato No. AFCS-BR 00293-2012, 2012.

GUIMARÃES, Rafael Zoboli et al., **Espacialização da perda de solo por erosão laminar na microbacia do Rio Campinas, Joinville SC**. Raega-O Espaço Geográfico em Análise, v. 23, 2011.

HAMEL, **Perrine et al. The value of hydrologic information for watershed management programs: The case of Camboriú, Brazil**. Science of the Total Environment, v. 705, p. 135871, 2020.

JARDIM, Mariana Heilbuth. **Pagamentos por serviços ambientais na gestão de recursos hídricos: o caso do município de Extrema-MG**. 2011.

JAMSHIDI- Roudbari, Abbas; Chang, Shih Chang. **Common electrode connections in integrated touch screens**. U.S. Patent Application n. 13/492,671, 6 jun. 2013.

KAZAY, Daniel Firmo et al. **Avaliação da Capacidade de Infiltração e do Pagamento por Serviços Ambientais em Sistemas Agroflorestais Sucessionais: o caso da Cooperafloresta.** Projeto de graduação (Engenharia Ambiental)-Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

LANNA, Antonio EduArdo. **A economia dos recursos hídricos: os desafios da alocação eficiente de um recurso (cada vez mais) escasso**. estudos avançados, v. 22, n. 63, p. 113-130, 2008.

Maidment, David R.; Morehouse, Scott. **Arc Hydro: GIS for water resources**. ESRI, Inc., 2002.

MARTINS S. G., **Erosão hídrica em povoamento de eucalipto sobre solos coesos nos Tabuleiros Costeiros, E**S, Universidade Federal de Lavras, 2005, Tese de Doutorado, 117.

MERRITT, Wendy S.; Letcher, Rebecca A.; Jakeman, Anthony J. **A review of erosion and sediment transport models. Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 8-9, p. 761-799, 2003.

MAZOYER, Marcel; ROUDART, Laurence. **História das agriculturas no mundo**. Do Neolítico à crise contemporânea. São Paulo, Editora UNESP, 2008.

NASCIMENTO, Maria Amélia. **Bacia do Ribeirão João Leite: influência das condições ambientais naturais e antrópicas na perda de terra por erosão laminar.** 176 p. (Tese de Doutorado). UNESP, Rio Claro-SP. 1998.

OLIVEIRA, Wellington Nunes de et al., **Avaliação da qualidade ambiental da paisagem da bacia hidrográfica e do reservatório do Ribeirão João Leite,** 2013.

PRUSKI, F.F.; Moreira, G.T.G.; Silva, J.M.A.; Ferreira, C. de P.; Moreira, M.C. de O.; Griebeler, N.P.; Andrade, M.V.A.; Teixeira, A. de F. Terraço 4.1: **Práticas mecânicas para a conservação de solo e água em áreas agrícolas**. Viçosa: AEAGRI-MG, 2009. 88p.

RESENDE, Fernando de Moura et al., **Planejamento para conservação de serviços ecossistêmicos no Cerrado.** 2018.

RIBEIRO, Aristela Resende et al., **Percepção dos integrantes do Programa produtor de água Produtor de Água sobre os desafios do processo de implantação**. 2015.

SANTOS, Eduardo HM dos; Griebeler, Nori P.; Oliveira, Luiz FC de. **Relação entre uso do solo e comportamento hidrológico na Bacia Hidrográfica do Ribeirão João Leite**. Rev. bras. eng. agríc. ambient, p. 826-834, 2010.

SAAD, Sandra Isay. **Modelagem e valoração dos serviços ambientais hidrológicos na recuperação da vegetação no Ribeirão Ribeirão das Posses, Extrema, MG.** 2015. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Ambiental, Programade Pós-graduação em Ciência Ambiental, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SALZMAN, J., Bennett, G., Carroll, N., Goldstein, A., & Jenkins, M. (2018). **The global status and trends of payments for ecosystem services. *Nature Sustainability*, 1**(3), 136–144.

SEMARH – **Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos**. Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Oeste - ITCO. Plano de Manejo APA João Leite - Goiânia, 2007.

SOUSA, Silvio Braz de. **Impactos da implantação da barragem no Ribeirão João Leite sobre a oferta de hortifruti na Grande Goiânia**. 2013.

SILVA, Renato Castro da. **Cultivo Da Alface Com Coberturas De Solo**. 2018.

TUNDISI, José Galizia. **Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos**. Revista USP, n. 70, p. 24-35, 2006.

VIGIAK, O.; Borselli, L.; Newham, L. T. H.; Mcinnes, J.; Roberts, A. M. **Comparison Of Conceptual Landscape Metrics To Define Hillslope-Scale Sediment Delivery Ratio. Geomorphology.** P 74–88. 2012. Disponível Em <Http://Www.Sciencedirect.Com/Science/Article/Pii/S0169555x11004478#>, Acesso Em 05 Ago. 2018.

ZANELLA, Bruno Pavanelli. **Modelagem do aporte de sedimentos aplicada à bacia hidrográfica contribuinte da PCH Costa Rica (MS) e proposta de mitigação do assoreamento.** 2016.

CAPÍTULO 6

TÉCNICAS DE AGRICULTURA DE PRECISÃO E MACHINE LEARNING NA ESTIMATIVA DE ATRIBUTOS FÍSICOS E QUÍMICOS DO SOLO

Data de aceite: 03/07/2023

Ziany Neiva Brandão
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Cotton), Campina Grande, PB. Brasil

Hugo Machado Rodrigues
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ. Brasil

Everaldo Paulo de Medeiros
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Cotton), Campina Grande, PB. Brasil

Ronei Sandri Sana
SLC Agrícola, Agricultura Digital, Porto Alegre, RS. Brasil

Luciano Shozo Shiratsuchi
Louisiana State University (LSU), School of Plant, Environmental and Soil Sciences, Baton Rouge LA, USA

RESUMO: Este trabalho objetivou a avaliação do uso da suscetibilidade magnética aparente (SMa) na caracterização da variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo, bem como identificar locais com diferentes potenciais produtivos para o algodoeiro em Cristalina, GO, Brasil. Para tanto, amostras compostas (profundidade de 0-20 cm) de solo foram coletadas em 16 pontos em 27 hectares, após a medição da SMa com um sensor de indução eletromagnética (Geonics EM38-MK2®). As variáveis foram avaliadas e mapeadas quanto à sua distribuição espacial. A SMa na profundidade de até 50cm apresentou correlações superiores a 60% com os cátions, soma das bases e o pH do solo (Spearman - 95% de significância), enquanto a SMa a 1m, apresentou valores superiores à 41% com os da produtividade e areia. Os resultados demonstraram que a susceptibilidade magnética pode ser usada para predizer alguns atributos físico-químicos auxiliando na correção do solo e avaliação do potencial produtivo para o algodão.

PALAVRAS-CHAVE: Agricultura de precisão, susceptibilidade magnética do solo, algodão, geoestatística, fertilidade do solo.

ABSTRACT: This work aimed to evaluate the use of apparent magnetic susceptibility (SMa) in the characterization of spatial variability of soil physical and chemical properties, as well as to identify places with different productive potential for cotton in

Cristalina, GO, Brazil. For that, composed samples (depth of 0-20 cm) of soil were collected in 16 points in 27 hectares, after the SMa measurement with an electromagnetic induction sensor (Geonics EM38-MK2). All the variables were evaluated and mapped in terms of the spatial distribution. The SMa at depths up to 50cm showed correlations greater than 60% with cations, sum of bases and soil pH (Spearman - 95% significance), while deep SMa (up to 1m) showed values higher than 41% with the values of productivity and sand. The results showed that the magnetic susceptibility can be used as a predictor of some physicochemical attributes helping in soil correction and evaluation of productive potential for cotton crop.
KEYWORDS: Precision agriculture, Soil Magnetic susceptibility, Cotton, Geostatistics, Soil fertility.

1 I INTRODUÇÃO

Avaliações rápidas e precisas para entendimento e gerenciamento da variabilidade dos atributos do solo são essenciais na agricultura moderna. Especialmente em grandes áreas, onde o solo tem uso intensificado, é fundamental o tempo de coleta de informações detalhadas sobre as propriedades do solo, que auxiliam nas práticas de manutenção da fertilidade do solo e permitem o aumento da produtividade das culturas. Muitas ferramentas de gestão têm sido utilizadas, destacando-se aquelas que fornecem meios para o mapeamento da variabilidade espacial e da relação entre diferentes variáveis (BARBIERI et al., 2008; VITHATANA et al., 2008).

Uma técnica normalmente utilizada para identificar a interdependência das propriedades do solo é a suscetibilidade magnética (SMa), utilizada por décadas em laboratório. A magnitude desse parâmetro depende das concentrações e características dos minerais magnéticos presentes no solo (VEROSUB e ROBERTS, 1995; TORRENT *et al.*, 2006).

Atualmente, sensores proximais por indução eletromagnética facilitam a medição, e tornam a SMa especialmente adequada para estudos que requerem muitas amostras em pouco tempo (JAYNES, *et al.*, 1995; DEARING *et al.*, 1996; BARBIERI *et al.*, 2009). Fornecida simultaneamente, a condutividade elétrica do solo (CEa) também é influenciada pelas interações entre várias propriedades do solo, como salinidade, textura do solo, teor de umidade, capacidade de troca catiônica, carbono orgânico, temperatura do solo, das propriedades físicas do solo e dos nutrientes disponíveis no solo (SUDDUTH *et al.*, 1998; RHOADES *et al.*, 1999; BRANDÃO *et al.*, 2011).

A geoestatística é uma das ferramentas mais utilizadas para avaliar a variabilidade espacial nas relações de causa e efeito entre as propriedades do solo e a resposta da cultura (RHOADES *et al.*, 1999; BOGAERT e D.D'OR, 2002). A principal vantagem da geoestatística sobre o uso de parâmetros estatísticos como a média e o coeficiente de variação é sua capacidade de representar a continuidade espacial, essencial para definir com precisão os limites entre as áreas mapeadas.

Essa pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial do uso da Susceptibilidade magnética aparente (SMa) para predição de atributos químicos e físicos do solo e sua relação com a produtividade em um sistema de produção de algodão comercial, seguindo uma abordagem de mapeamento dos atributos testados.

2 | MATERIAL E MÉTODOS

O experimento *on-farm* foi conduzido no município de Cristalina, GO, em uma área experimental de 27,2 ha, cujas coordenadas centrais são 16º15'23"S, 47º38'13"O conforme apresentada na Figura 1. O clima na região é tropical de altitude semiúmido, com máximas no verão de 33°C e mínimas de 11,6°C no inverno. Os solos da região são predominantemente Latossolo vermelho-amarelo, com textura argilosa a muito argilosa, (48 a 67% de argila) apresentando na área experimental em média 10,5% de areia, 54,3% de argila, e 35,2% de silte. As adubações foram realizadas de acordo com as recomendações técnicas para a cultura, baseadas na análise da fertilidade do solo. Durante o ciclo, a cultura foi monitorada com manejo para controle de pragas e doenças. Usou-se a cultivar FM 954 GLT, e espaçamento de 0,76 m entre linhas, semeada em dezembro/2018 e colhida em julho/2019.

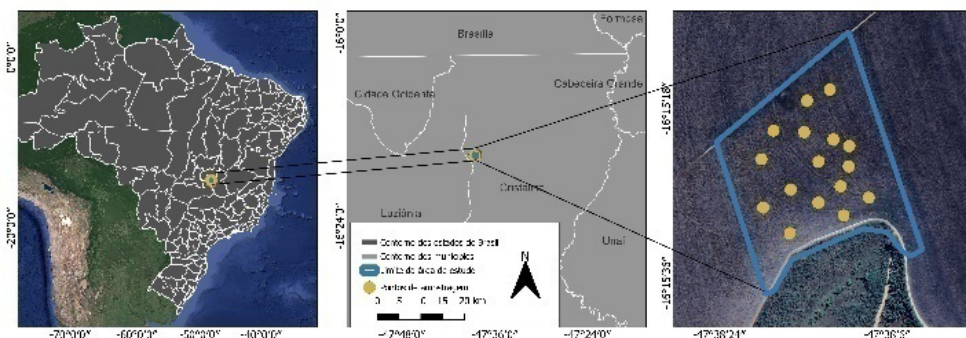



Figura 1. Área experimental em Cristalina, GO, com a representação dos pontos de coleta de solos.

Os dados de SMa e CEa foram coletados utilizando um sensor Geonics EM38-MK2 com as duas distâncias entre bobinas,sendo essas 0.5 e 1 m permitindo leituras rasas e profundas, respectivamente. A bobina de leitura rasa alcança até 0.45 m enquanto a mais profunda alcança 0.75 m de análise no solo.

Foi caracterizada a estrutura de dependência espacial dos atributos obtidos pelo sensor, SMa e CEa, bem como do solo: argila, areia, pH, Mg K, SB, e (H +Al) por meio de ajustes de semivariogramas e em seguida foram interpolados por krigagem ordinária (KO) utilizando o pacote *gstat* do *software* R. Os atributos Ca, e P no solo foram espacializados por meio do inverso da distância ponderada ao quadrado (IDW).

3 I RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados de sensores apresentaram distribuição próxima à classificação de normalidade embora a distribuição da frequência tenha indicado maior ocorrência dos valores à esquerda do gráfico, conforme apresentado na Figura 2, para os dados obtidos pelo EM38-MK2®.

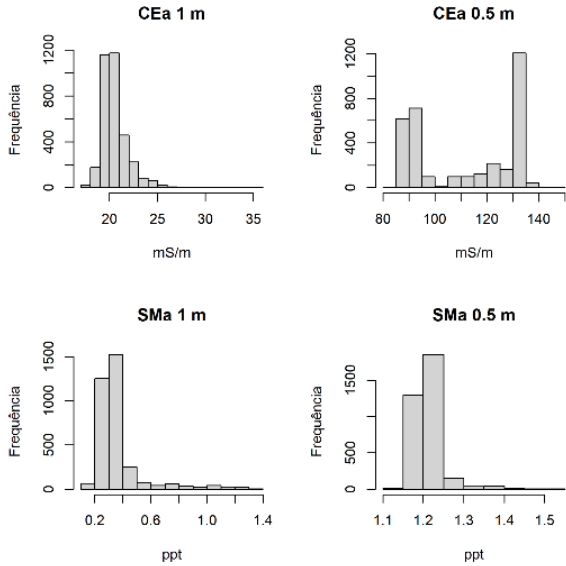



Figura 2: Histogramas apresentando distribuição dos dados de condutividade elétrica aparente (CEa), e susceptibilidade magnética aparente (SMa), obtidos na fazenda Pamplona, Cristalina, GO, pelo sensor EM38-MK2® com distâncias entre as bobinas de 1,0 m e 0,5 m.

Segundo Yamamoto e Landim (2013), não há necessidade de conversão dos dados caso esse comportamento ocorra. Os semivariogramas foram então ajustados para cada uma das propriedades do solo obtidas pelo sensor proximal.

Os semivariogramas de alguns dos atributos do solo que foram mapeados usando krigagem ordinária (KO) são apresentados na Figura 3, enquanto que os valores de estatística descritiva para os atributos de CEa e SMa bem como para os dados físico-químicos e de produtividade do algodão são exibidos na Tabela 1.

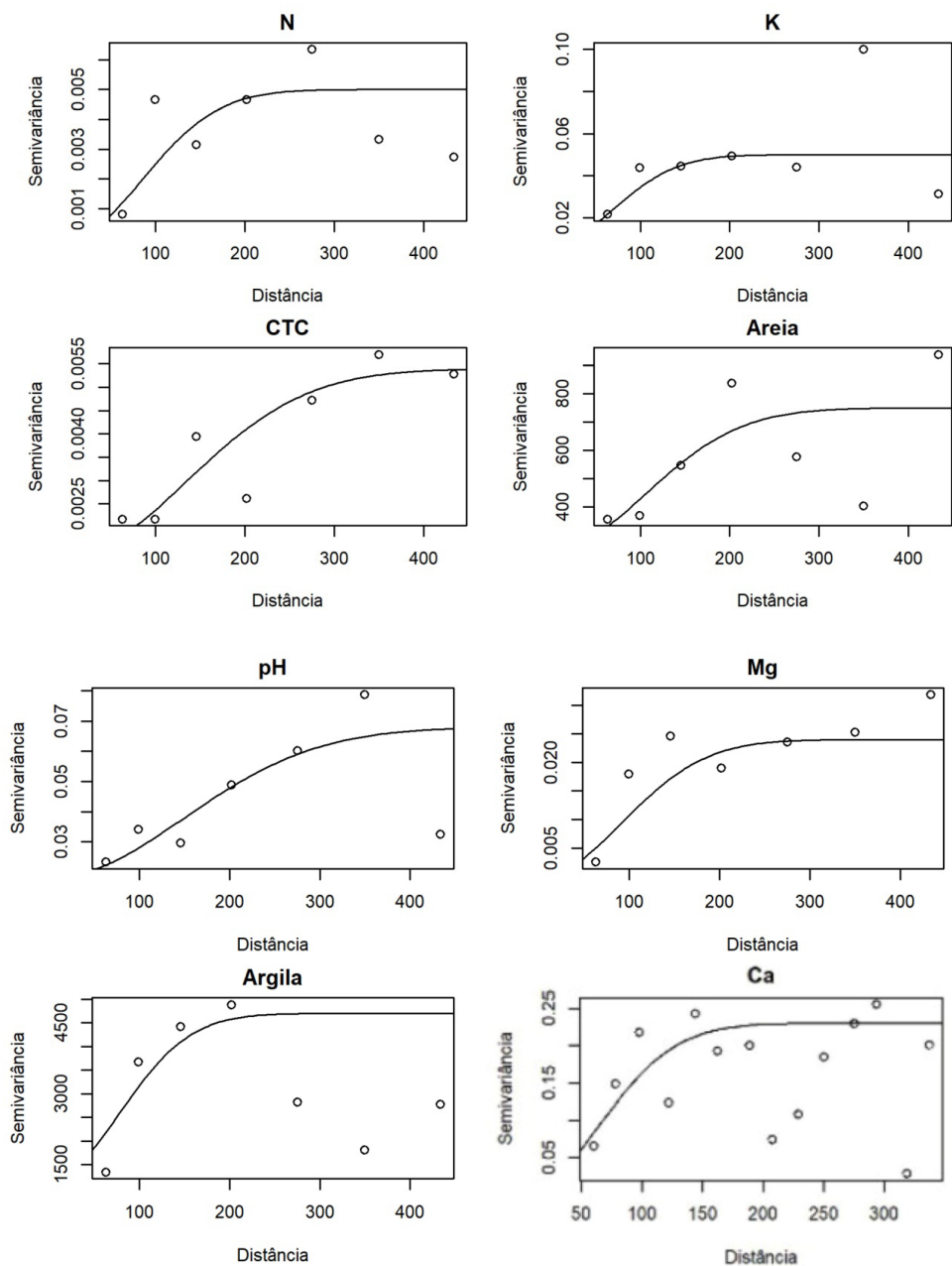



Figura 3: Semivariogramas dos atributospH, N,K, Ca, Mg, CTC, Areia e Argila coletados no talhão G da Faz. Pamplona, GO, antes do plantio do algodoeiro e medidos em laboratório.

	Mín	Max	Média	Mediana	Variância	Desvio Padrão	Assimetria	Curtose
CEa 1m	113.05	133.63	127.71	131.01	44.78	6.69	-0.89	-0.85
CEa 0.5 m	0.23	0.80	0.32	0.27	0.02	0.14	2.45	5.65
SMa 1 m	1.18	1.23	1.20	1.20	0.00	0.01	0.09	-0.38
SMa 0.5 m	1.45	2.70	1.86	1.71	0.14	0.38	0.75	-0.69
Ca/Mg	1.45	2.70	1.86	1.71	0.14	0.38	0.75	-0.68
Prod	4244.9	5693.4	5020.5	4959.6	151969	389.8	-0.17	-0.92
K	57.55	150.12	95.19	86.93	484.62	22.01	0.64	0.21
Ca	1.60	3.17	2.26	2.27	0.17	0.41	0.37	-0.54
P	3.75	9.87	6.81	6.62	3.13	1.77	0.11	-1.24
Mg	-0.05	0.48	0.20	0.17	0.02	0.15	0.13	-1.06
Areia	83.64	132.15	105.42	101.76	246.02	15.68	0.27	-1.44
Argila	472.73	602.95	542.09	535.64	1754.06	41.88	-0.01	-1.40

Tabela 1. Valores médios de CEa e SMa, das características físico-químicas do solo e da produtividade do algodoeiro em área experimental na Fazenda Pamplona, GO, (amostras coletadas na profundidade de 0-20 cm).

As correlações de *Spearman* entre os atributos do solo e os valores obtidos com o sensor EM38-MK2 são apresentadas na Tabela 2 com os valores de *r* de correlação significativos com 95% de significância.

Para auxiliar na interpretação das interações entre a variável produtividade de algodão, atributos do solo e os dados de sensores proximais é exibido na Figura 4 um gráfico da análise de componentes principais em que pode-se observar que a produtividade está acompanhando os valores de areia e CTC, enquanto é inversamente proporcional a SMa 0.5 m.

	Prod	*ECa 1.0m*	*ECa 0.5m*	*SM_1m*	*SMa 0.5m*	*pH*	*K+*	*H+ + Al+3*	*Ca+2*	*Mg+2*	*SB*
Prod	1	-0.57	-0.30	0.41	-0.06	-0.25	-0.02	0.18	0.15	-0.03	0.10
pH	-0.25	0.31	-0.20	-0.27	0.67	1	0.69	-0.90	0.70	0.32	0.72
K+	-0.02	0.47	-0.37	-0.30	0.63	0.69	1	-0.78	0.52	0.65	0.72
H+ + Al+3	0.18	-0.43	0.26	0.13	-0.64	-0.90	-0.78	1	-0.56	-0.28	-0.60
Ca+2	0.15	0.20	-0.24	-0.13	0.57	0.70	0.52	-0.56	1	0.32	0.93
Mg+2	-0.03	0.43	-0.21	-0.38	0.66	0.32	0.65	-0.28	0.32	1	0.65
SB	0.10	0.35	-0.29	-0.26	0.73	0.72	0.72	-0.60	0.93	0.65	1
CTC	0.31	-0.23	0.07	-0.06	-0.16	-0.50	-0.34	0.72	0.11	0.23	0.12
Areia	0.42	-0.21	-0.07	0.46	0.15	0.30	0.12	-0.35	0.35	-0.11	0.24
Silte	0.18	0.03	-0.09	0.22	0.39	0.20	0.14	-0.10	0.54	0.32	0.54
Argila	-0.30	0.06	0.09	-0.35	-0.34	-0.27	-0.15	0.22	-0.54	-0.19	-0.49

Ca + Mg	0.11	0.32	-0.27	-0.24	0.71	0.69	0.66	-0.56	0.94	0.63	0.99
(Ca + Mg) /K	0.10	-0.38	0.22	0.13	-0.14	-0.32	-0.75	0.53	0.06	-0.24	-0.12
K/Mg	0.02	0.24	-0.26	-0.03	0.20	0.62	0.72	-0.76	0.42	-0.05	0.38
Ca/Mg	0.16	-0.12	-0.09	0.17	0.06	0.46	0.02	-0.36	0.70	-0.45	0.38
(H+Al3)/K	0.02	-0.48	0.32	0.19	-0.54	-0.76	-0.93	0.82	-0.61	-0.44	-0.72
(H+Al3)/Ca	-0.06	-0.31	0.30	0.11	-0.65	-0.87	-0.71	0.81	-0.92	-0.34	-0.89

Tabela 2. Correlação de *Spearman* entre os dados de CEa e SMa e os atributos físico-químicos e de produtividade utilizando 95% de grau de significância

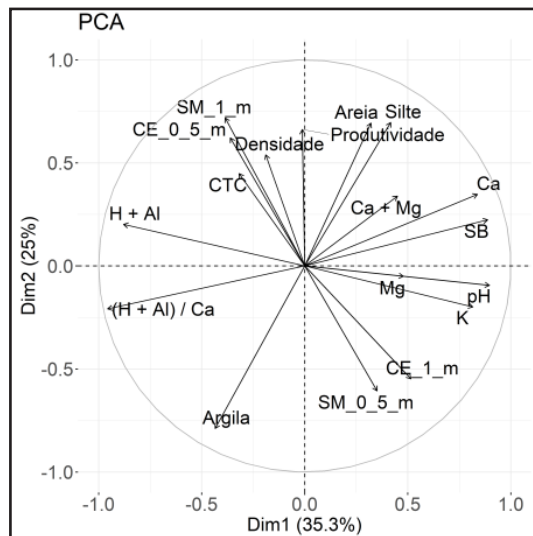



Figura 4. Pesos da análise dos componentes principais entre os dados de CEa e SMa e os atributos físico-químicos e de produtividade.

Os mapas interpolados dos valores obtidos pelo sensor estão apresentados na Figura 5, enquanto que os dados dos atributos do solo são apresentados na Figura 6. Através da interpolação por krigagem ordinária, a variabilidade dos dados da SMa pode ser comparada ao conteúdo de potássio e magnésio no solo. De acordo com Raij (1991), o pH do solo está relacionado com o teor de bases trocáveis no solo (RAIJ, 1991). Do mesmo modo, a condutividade elétrica está relacionada com a maior concentração de íons na solução de solo, que aumenta com o crescimento dos teores dos nutrientes trocáveis (RHOADES *et al.*, 1999; BRANDÃO *et al.*, 2011). Assim, ambas as variáveis aumentam com o incremento dos teores de nutrientes no solo. Já os teores de H^{+}+Al^{3+} variam em sentido inverso, pois à medida que os valores das bases trocáveis e o pH aumentam, ocorre neutralização da acidez do solo (BRANDÃO *et al.*, 2011). Assim, é possível estimar para cada solo um valor de CEa que permite obter o pH adequado e um valor de SMa para cada valor de H^{+}+Al^{3+} que corresponda a acidez potencial aceitável.

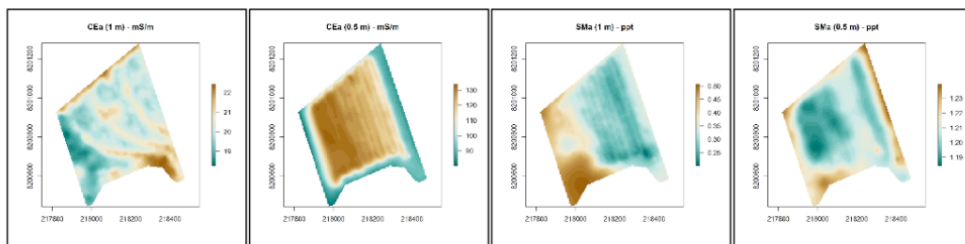



Figura 5: Mapas interpolados dos valores de CEa (condutividade elétrica aparente), e SMa (susceptibilidade magnética aparente), coletados pelo sensor EM38-MK2®, antes do plantio na fazenda Pamplona, GO, e medidos nas profundidades de 0,5 e 1m.

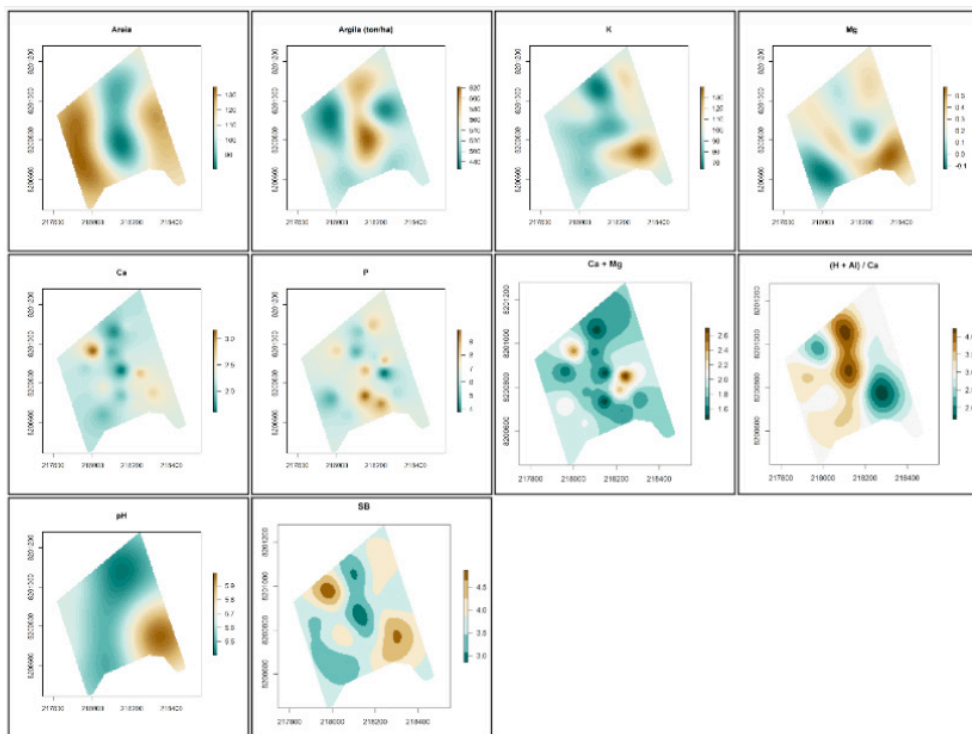



Figura 6. Mapas dos atributos físicos e químicos em solo argiloso obtidas em área experimental para o algodoeiro safra 2019 em Cristalina, GO, Brasil.

A produtividade, cujo mapa interpolado por KO é apresentado na Figura 7, foi influenciada pela acidez no solo em que observa-se uma tendência consistente de crescimento com o conteúdo de areia, e de redução com argila no solo, a qual foi observada em solos argilosos por diversos autores (PELUCO *et al.*, 2013; JIMÉNEZ, *et al.*, 2017).

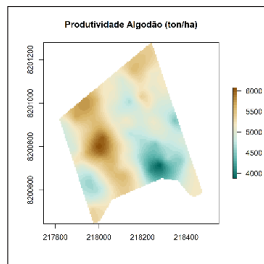



Figura 7. Mapa da produtividade do algodoeiro em área experimental em Cristalina, GO, Brasil, obtido com dados da colheitadeira mecanizada, e interpolado usando krigagem ordinária.

Isso provavelmente ocorre devido a maior concentração de argila no solo, fazendo com que áreas com maior teor de areia apresentem melhor estruturação e portanto oxigenação do solo, aumentando a produtividade. É possível observar pelo aumento da soma das bases (SB) (Figura 6) uma menor produtividade. A SMa superficial mostrou ser boa preditora da SB no solo, auxiliando na avaliação para o manejo adequado às condições exigidas pelo algodoeiro.

4 I CONCLUSÕES

O uso da susceptibilidade magnética (SMa) na camada superficial do solo, obtida por sensor proximal em campo, mostrou-se promissora para estimativa das propriedades do solo, especialmente aquelas relacionadas à disponibilidade de K, Ca, e Mg ao algodoeiro, permitindo seu uso no manejo do solo e correção da fertilidade antes mesmo do plantio. Esses atributos apresentaram correlações significativas superiores à 63% com a SMa obtida até 50cm da camada do solo.

A SMa e a CEa mais profundos (até 1 metro entre bobinas) mostraram potencial para predição da produtividade do algodoeiro, cujas correlações (r) foram de 0,41 e -0.57, respectivamente.

O uso combinado de dados do sensor eletromagnético com a geoestatística disponibilizou formas de visualização espacial sobre a área a ser trabalhada, facilitando a análise e permitindo a aplicação de insumos em taxa variada.

REFERÊNCIAS

BARBIERI, D. M.; MARQUES Jr., J.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de atributos químicos de um argissolo para aplicação de insumos à taxa variável em diferentes formas de relevo. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.28, n.4, p.645-653, 2008.

BARBIERI, D. M.; MARQUES Jr., J.; ALLEONI, L. R. F.; GARBUIO, F. J.; CAMARGO, L. A. Hill slope curvature, clay mineralogy, and phosphorus adsorption in an Alfisol cultivated with sugarcane. **Scientia Agricola**. v. 66, n.6, p. 819–826, 2009. Doi: /10.1590/S0103-90162009000600015

BOGAERT, P.; D'Or, D. Estimating soil properties from thematic soil maps: the Bayesian Maximum Entropy Approach. **Soil Science Society of America Journal**. v.66, p.1492–1500, 2002.

BRANDÃO, Z. N.; ZONTA, J. H.; MEDEIROS, J. C.; SANA, R. S.; BARBOSA, G. F. Condutividade elétrica aparente e sua correlação com o pH em solos no cerrado de Goiás. In: R. Y. Inamasu, et al. Agricultura de precisão: um novo olhar. 1. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação, v. 1, p. 162 – 167. 2011.

DEARING, J. A.; HAY, K. L.; BABAN, S. M. K.; HUDDLESTON, A. S.; WELLINGTON, E. M. H.; LOVELAND, P. J. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. **Geophysical Journal International**. v.127, p. 728–734, 1996.

JAYNES, D. B. T.; COLVIN, T. S.; AMBUEL, J. Yield mapping by electromagnetic induction. In Proc. **Of Site-Specific Management for Agricultural Systems**, 2nd ed., p. 383–394. P.C. Robert et al. (eds.) Minneapolis, MN: University of Minnesota Extension Service, 1995.

JIMÉNEZ, C.; BENAVIDES, J.; OSPINA-SALAZAR, D. I.; ZÚÑIGA , O.; OCHOA, O.; MOSQUERA G. C. Relationship between physical properties and the magnetic susceptibility in two soils of Valle del Cauca. **Revista de Ciências Agrícolas**. v. 34, n. 2, p.33-45. 2017 Doi: /10.22267/rcia.173402.70.

PELUCO, R. G.; MARQUES JUNIOR, J.; SIQUEIRA, D. S.; CORTEZ, L. A.; PEREIRA, G. T. Magnetic susceptibility in the prediction of soil attributes in two sugarcane harvesting management systems. **Engenharia. Agrícola**, v.33, n.6, p.1134-1143. 2013. Doi: /10.1590/S0100-69162013000600006.

RHOADES, J. D.; CHANDUVI, F.; LESCH, S. M. Soil salinity assessment: Methods and interpretation of electrical conductivity measurements. FAO irrigation and drainage paper 57. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1999.

SUDDUTH, K. A.; FRAISSE, C. W.; DRUMMOND, S. T.; KITCHEN, N. R. Integrating spatial data collection, modeling and analysis for precision agriculture. In: the **First International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry**, Florida, USA. Access: http://www.fse.missouri.edu/ars/projsum/erim_3.pdf, 1998.

TORRENT, J.; BARRÓN, V.; LIU, Q. Magnetic enhancement is linked to and precedes hematite formation in aerobic soil. **Geophysical Reearch Letters**. v. 33 L02401, 2006. Doi:/10.1029/2005GL024818

VAN RAIJ, B. **Fertilidade do solo e adubação.** Piracicaba: Ceres - Potafos, 1991. 343 p.

VEROSUB, K. L.; ROBERTS, A. P. Environmental magnetism: past, present and future. Journal of Geophysics Research. v.100, p.2175–2192, 1995.

VITHARANA, U.W.A.; Van MEIRVENNE, M.; COCKX, L.; BOURGEOIS, J. Identifying potential management zones in a layered soil using several sources of ancillary information. **Soil Use Management**. v.22, p.405–413. 2006.

VITHARANA, U. W. A.; SAEY, T.; COCKX, L.; SIMPSON, D.; VERMEERSCH, H.; Van MEIRVENNE, M. Upgrading a 1/20,000 soil map with an apparent electrical conductivity survey. **Geoderma**, v.148, p.107–112, 2008.

CAPÍTULO 7

MORFOLOGIA DE *Ipomoea asarifolia* E SUA TOXICIDADE: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Data de aceite: 03/07/2023

Raylane Rocha da Mata
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/3887028660578679

Rainara Ribeiro Oliveira
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/1189071121388820

Sinval Garcia Pereira
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/4389696038341622

Raissa Rachel Salustriano da Silva-Matos
Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Centro de Ciências de Chapadinha, Chapadinha-MA
http://lattes.cnpq.br/0720581765268326

RESUMO: A família Convolvulaceae é composta por trepadeiras, ervas e arbustos encontrados em regiões tropicais e temperadas quentes. No Brasil, existem cerca de 400 espécies pertencentes a essa família, distribuídas em diferentes ecossistemas. A *Ipomoea asarifolia*, uma planta trepadeira herbácea, é encontrada em várias regiões do país e possui características morfológicas distintas. Suas flores são polinizadas por abelhas e possuem uma estrutura que permite o acesso de diferentes insetos aos recursos florais. A planta é conhecida por suas propriedades tóxicas e tem sido usada na medicina popular para tratar diversos problemas de saúde. No entanto, a planta também pode representar um risco para a saúde dos animais, especialmente os pequenos ruminantes, devido à presença de substâncias tóxicas. A intoxicação por *Ipomoea asarifolia* pode ser identificada pelos sintomas clínicos nos animais e pela presença da planta nas áreas de pastagem. Estudos têm revelado a presença de flavonoides e diterpenos indólicos na planta, que desempenham papéis importantes em sua fisiologia e bioquímica, mas também podem ter potencial tóxico.

PALAVRAS-CHAVE: Salva brava; Planta tóxica; Fitoquímica.

MORPHOLOGY OF *Ipomoea asarifolia* AND ITS TOXICITY: A LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: The Convolvulaceae family comprises climbers, herbs, and shrubs found in tropical and warm temperate regions. In Brazil, there are around 400 species belonging to this family, distributed across different ecosystems. *Ipomoea asarifolia*, an herbaceous climbing plant, is found in various regions of the country and exhibits distinct morphological characteristics. Its flowers are primarily pollinated by bees and have a structure that allows access to different insects for floral resources. The plant is known for its toxic properties and has been used in folk medicine to treat various health issues. However, it can also pose a risk to animal health, especially small ruminants, due to the presence of toxic substances. Intoxication from *Ipomoea asarifolia* can be identified through clinical symptoms in animals and the presence of the plant in grazing areas. Studies have revealed the presence of flavonoids and indole diterpenes in the plant, which play important roles in its physiology and biochemistry but may also have toxic potential.
KEYWORDS: Salsa brava; Toxic plant; Phytochemistry.

INTRODUÇÃO

A família Convolvulaceae é composta por trepadeiras, ervas e arbustos (raramente árvores) e pertence à ordem Solanales. Essa família abrange 59 gêneros e aproximadamente 1.900 espécies, encontradas em todas as regiões tropicais e temperadas quentes (SIMÕES; STAPLES, 2017).

No território brasileiro, é possível encontrar aproximadamente 400 espécies pertencentes a 24 gêneros distintos. Essas plantas estão distribuídas em diversas regiões do país, abrangendo ecossistemas como a Caatinga, o Cerrado, a Floresta Amazônica, a Floresta Atlântica, o Pampa e o Pantanal (FLORA DO BRASIL, 2023).

A *Ipomoea asarifolia*, também conhecida pelos nomes populares salsa-brava, batata-brava, batatão, batatarana e salsa, é uma planta herbácea pertencente à família Convolvulaceae. Ela possui ampla distribuição geográfica e pode ser encontrada nas regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil (FLORA DO BRASIL, 2023). Essa espécie apresenta características distintas, sendo uma planta trepadeira perene que é naturalmente encontrada em áreas abertas ou nas bordas de vegetações, devido ao seu comportamento ruderal (NUNES et al., 2023)

MORFOLOGIA DE *Ipomoea asarifolia*

A morfologia floral da *I. asarifolia* é interessante, pois embora seja polinizada principalmente por abelhas, a sua estrutura floral facilita o acesso de diferentes grupos de insetos aos recursos florais (PAZ; PIGOZZO, 2012). Suas flores estão agrupadas em inflorescências que contêm de três a 15 botões, com a abertura de quatro a oito flores por dia/inflorescência. A corola em formato de funil geralmente inclina-se em um ângulo

superior a 90º em relação ao eixo da inflorescência. As flores apresentam glândulas de néctar que são inodoras para os seres humanos, mas atraentes para os visitantes florais e polinizadores. A cor das flores varia de rosa a lilás, com o interior do tubo e a região entre as pétalas exibindo tons de roxo a magenta, os quais funcionam como guias para o néctar (Figura 1) (NUNES et al., 2023).

Figura 1. Flores da Ipomoea asarifolia.

O caule dessa planta é macio ou maleável, geralmente rasteiro e sem caule lenhoso, ou seja, sem lignina (OLIVEIRA JUNIOR et al., 2008). Além disso, apresenta ramos volúveis ou prostrados, medula fistulosa e látex branco. Suas folhas possuem pecíolos longos e são divididas de forma simples ou inteira, com lâminas ovadas e base cordada. O ápice das folhas pode ser agudo, arredondado ou obtuso. Tanto a face adaxial quanto a face abaxial das folhas são glabras, ou seja, sem indumento (Figura 2) (FLORA DO BRASIL, 2023).

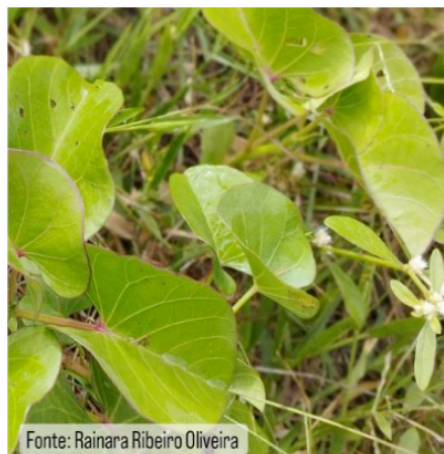



Figura 2. Folhas de Ipomoea asarifolia

Além das suas características morfológicas, a *I. asarifolia* é conhecida por ser uma planta tóxica. Estudos têm mostrado que o gênero *Ipomoea,* ao qual essa espécie pertence, possui compostos químicos com efeitos fitotóxicos, inibindo o crescimento de outras plantas, inclusive plantas daninhas invasoras. Essas plantas têm sido utilizadas por agricultores para controlar a proliferação dessas plantas indesejadas. Além disso, pesquisas têm investigado a fitoquímica desse gênero, revelando a presença de diversos compostos biologicamente ativos, como alcaloides indolizidínicos, benzenoides, alcaloides nortroprano, compostos fenólicos, cumarinas, diterpenos, isocumarina, glicolipídios e triterpenos (MEIRA et al., 2012)

TOXICIDADE DE *Ipomoea asarifolia*

Na medicina popular, a *Ipomoea asarifolia* é amplamente utilizada para tratar uma variedade de problemas de saúde, incluindo inflamações, febre, doenças respiratórias e distúrbios digestivos. Essa planta também tem despertado interesse na indústria farmacêutica devido ao seu potencial como fonte de compostos bioativos para o desenvolvimento de novos medicamentos.

No entanto, é importante ressaltar que a *I. asarifolia* também pode representar um risco para a saúde dos animais. Estudos relatam casos de ovinos intoxicados por essa planta, apresentando sintomas como tremores musculares, excitabilidade, pupilas dilatadas, opistótono, estrabismo, dismetria, distúrbios de coordenação e quedas. Exames histopatológicos realizados nesses animais intoxicados revelaram alterações no cerebelo, como a presença de vacúolos na camada granular, esferóides axonais e vacúolos intracitoplasmáticos em células de Purkinje. Portanto, a *I. asarifolia* destaca-se como uma planta tóxica para o semiárido brasileiro, exigindo a atenção dos produtores dessa região para evitar surtos de intoxicação em animais (GUEDES et al., 2007; BEZERRA et al., 2022).

Os animais ingerem a planta quando estão com fome, como é o exemplo da região semiárida nordestina, que há como fator determinante do aumento do consumo de plantas tóxicas por animais de produção a ocorrência de secas periódicas, deixando os animais com poucas alternativas para alimentação (Figura 3) (SILVA et al., 2008).

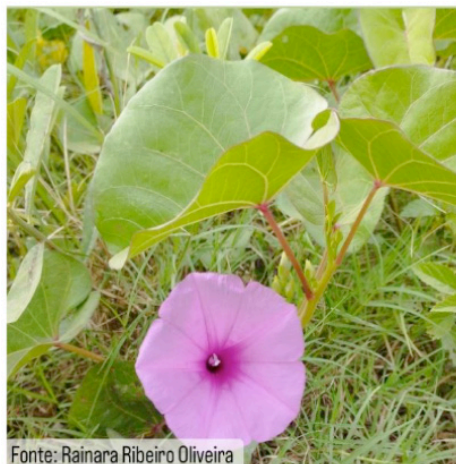
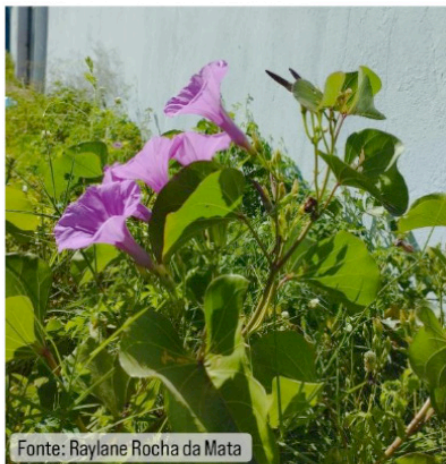



Figura 3. Planta Ipomoea asarifolia.

As plantas pertencentes ao gênero *Ipomoea* são especialmente perigosas para os pequenos ruminantes, uma vez que contêm substâncias tóxicas conhecidas como Swainsonina e Calistergina. Esses compostos alcançaram adversamente o funcionamento saudável do sistema nervoso desses animais, resultaram em consequências fatais (PESSOA et al., 2013).

A identificação da intoxicação causada pela presença da planta *Ipomoea asarifolia* é estabelecida através da análise dos sintomas clínicos manifestados pelos animais e da constatação da presença dessa planta nas áreas de pastagem. Quando os animais apresentam sinais clínicos indicativos de intoxicação, é possível removê-los imediatamente do pasto contaminado, a fim de preservar sua saúde (RIET-CORREA et al., 2017).

Em seu estudo sobre a *Ipomoea asarifolia* na neutralização da inflamação induzida pelo veneno do escorpião *Tityus serrulatus* Lima et al., (2014) comprovaram a presença de flavonoides no EAF de *I. asarifolia* e sugeriu a presença do glicosídeo flavonol rutina, que são flavonóides, estes desempenham um papel significativo na fisiologia e bioquímica das plantas, exercendo várias funções essenciais. Ainda de acordo com os autores, os flavonóides atuam como inibidores de enzimas, antioxidantes e também podem servir como precursores de substâncias com potencial tóxico; possuem a capacidade de regular a atividade de enzimas, interferindo nos processos metabólicos das plantas. Além disso, eles desempenham um papel importante na proteção das plantas contra danos oxidativos, agindo como antioxidantes.

Gardner et al. (2018) revelaram em seu estudo que os compostos responsáveis pela síndrome tremorgênica na *Ipomoea asarifolia* são o terpendol K e 6,7 dehidroerpendole A, que são os principais diterpenos indólicos encontrados na planta. Essas descobertas respaldam a hipótese de forma clara, indicando que esses alcaloides indólicos são os

responsáveis pela síndrome tremorgênica observada nos animais que se alimentam dessa espécie.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A *Ipomoea asarifolia*, uma planta trepadeira perene com ampla distribuição no Brasil, possui características morfológicas atrativas para polinizadores, como abelhas, devido à sua floração colorida e estrutura floral peculiar. No entanto, é importante ressaltar que a planta também contém compostos tóxicos, representando um risco para a saúde dos animais.

Estudos relataram casos de intoxicação em ovinos, evidenciando sintomas como tremores musculares e distúrbios de coordenação. Essa toxicidade destaca a necessidade de remover imediatamente os animais de pastagens contaminadas, a fim de evitar complicações de saúde.

Além disso, pesquisas têm investigado a composição química da *Ipomoea asarifolia*, revelando a presença de compostos bioativos com potenciais propriedades farmacológicas, como atividades anti-inflamatórias. Essas descobertas destacam o potencial da planta como uma fonte de compostos naturais de interesse para a indústria farmacêutica.

No entanto, é fundamental ter precaução ao lidar com a *Ipomoea asarifolia*, considerando sua toxicidade. Seu uso na medicina popular requer cuidado e monitoramento adequado para evitar intoxicações em humanos e animais.

Portanto, a *Ipomoea asarifolia* é uma planta de interesse botânico e farmacológico devido às suas características morfológicas e compostos bioativos. No entanto, é necessário estar ciente dos riscos associados à sua toxicidade e tomar as devidas precauções ao lidar com essa planta, garantindo a segurança da saúde humana e animal.

REFERENCIAS

BEZERRA, J. J. L.; OLIVEIRA NETA M. D. F.; ARAÚJO, J. M. M. **Fitoquímica e intoxicações em ruminantes por *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult. (Convolvulaceae): Uma revisão.** Scientific Electronic Archives, v. 15, n. 3, p.84-92, 2022. Disponível em: https://sea.ufr.edu.br/SEA/article/view/1517. Acesso em: 20 jun. 2023.

GARDNER, D.R.; WELCH, K.D.; LEE, S.T; COOK, D.; RIET-CORREA, F. Tremorgenic Indole Diterpenes from *Ipomoea asarifolia* and *Ipomoea muelleri* and the Identification of 6,7-Dehydro-11-hydroxy12,13-epoxyterpendole A**. Journal of Natural Products**, v. 81, p.1682–1686, 2018.

GUEDES, K.M.R.; RIET-CORREA, F.; DANTAS, A.F.M.; SIMÕES, S.V.D.; MIRANDA NETO, E.G.; NOBRE, V.M.T.; MEDEIROS, R.M.T. Doenças do sistema nervoso central em caprinos e ovinos no semi-árido. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 1, p.29-38, 2007.

LIMA, M.C.J.S., BITENCOURT, M.A.O., FURTADO, A.A., ROCHA, H.A.O., OLIVEIRA, R.M., SILVAJÚNIOR, A.A., EGITO, E.S.T., TAMBOURGI, D.V., ZUCOLOTTO, S.M., FERNANDES-PEDROSA, M.F. ***Ipomoea asarifolia*** **neutralizes inflammation induced by Tityus serrulatus scorpion venom.** Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.03.060. Acesso em: 06 jun. 2023.

MEIRA, M; SILVA, E.P; DAVID, J.M; DAVID, J.P. Review of the genus *Ipomoea*: traditional uses, chemistry and biological activities. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 22, n.3, p. 682-713, 2012.

NUNES, M. L. A.; RAMOS, G. J. A.; SILVA, C. M.; CORREIA, C. C. Reproductive aspects in *Ipomoea asarifolia* (Desr.) Roem. & Schult. (Convolvulaceae) occurring in antropized caatinga area. **Diversitas Journal, Diamantina**, v.8, n.2, p. 709-718, 2023.

PAZ, J. R. L.; PIGOZZO, C. M. Polinização de duas espécies simpátricas de *Ipomoea* L. (Convolvulaceae) em um remanescente urbano de Mata Atlântica, BA, Brasil. **Naturalia,** Rio Claro, v.35, p. 27-45, 2012.

PESSOA, C.R.M.; MEDEIROS, R.M.T.; RIET-CORREA, F. Importância econômica, epidemiologia e controle das intoxicações por plantas no Brasil**. Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.33, n.6, p.752-758, 2013.

RIET-CORREA, F.; MEDEIROS, R.M.T.; PFISTER, J.A. & MENDONÇA, F.S. Toxic plants affecting the nervous system of ruminants and horses in Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v.37, n.12, p.1357-1368, 2017.

SIMÃO-BIANCHINI, R.; FERREIRA, P.P.A.; VASCONCELOS, L.V*.* ***Ipomoea*** **in Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB7026>. Acesso em: 26 jun. 2023.

SIMÕES, A. R.; STAPLES, G. Dissolution of Convolvulaceae tribe Merremieae and a new classification of the constituent genera. **Botanical Journal of the Linnean Society,** Richmond, v.183, n.4, p.561-586, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, D.A. de; SILVA, R.A.; ARAÚJO, L.L.S.; SANTOS JÚNIOR, R.J.S.; ARNAULD, A.F. Caracterização fenológica das plantas apícolas herbáceas e arbustivas da microrregião de Catolé do Rocha – PB – Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 3, n. 4, p. 86-99, 2008.

CAPÍTULO 8

PRÁCTICAS PEDAGÓGICAS AMBIENTALES DE BASE COMUNITARIA EN PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDAD

Data de aceite: 03/07/2023

Jaime Andrés Valencia Betancourt
Estudiante del Doctorado en ciencias de la educación de la Universidad del Tolima, Docente catedrático de la Universidad del Tolima. Grupo de investigación en educación ambiental GEA

Gloria Marcela Flórez Espinosa
Doctora en ciencias de la educación de la Universidad de Caldas, Docente de planta de la Universidad del Tolima, Facultad ciencias de la educación

Canoas utilizadas para la extracción de la arena, en la ribera del Río Cauca a la altura del corregimiento de Navarro, Cali, Colombia.

Fuente Propia. (2023).

RESUMEN: Colombia no es ajena a la política internacional institucional y hegemónica del desarrollo sostenible, si bien, algunos elementos de esta política desde su concepción parecieran ser bien intencionados, queda claro en sus acciones y lineamientos estos postulados más bien responden a intereses de grupos hegemónicos y vulneran los derechos, cultura, territorios de las comunidades y el patrimonio natural de los lugares donde se establecen las grandes corporaciones y megaproyectos con el aval de los estados. Es cierto que para países como Colombia las políticas ambientales de desarrollo sostenible resultan ser "fachada", de supuestos proyectos en bien del trabajo y el mal llamado desarrollo de las comunidades; estas iniciativas, por el contrario, resultan ser descontextualizadas, de opresión y despojo y no cumplen con las expectativas generadas para muchos, pero si dan garantías para pocos, generalmente foráneos u otros que siendo locales están al servicio del extranjero. En medio de este cotidiano panorama, se genera además un fuerte debate frente a la instrumentalización de la educación ambiental, ya que se pretende cambiar sus objetivos básicos y centrales establecidos desde Estocolmo,

Tiblisi y Belgrado, para servir a propuestas con fines económicos dentro de un modelo de desarrollo (sostenible). La llamada "Educación para el desarrollo sostenible" en sus siglas EDS, viene en efecto a apoyar el proyecto globalizado extractivista, expropiador e injusto con las diferentes formas de vida, incluida la humana, es decir va en contravía con la educación ambiental *per se,* como proceso de formación de ciudadanos, para el conocimiento, valoración, defensa y toma de decisiones frente al ambiente, la cual es en todo caso una educación popular y crítica no hegemonizada. En consecuencia, este aparatado pretende generar un marco de referencia para prácticas pedagógicas ambientales y comunitarias desde la perspectiva de la sustentabilidad como germen de vida y apuesta emergente al mal llamado "desarrollo", toma la educación popular ambiental como propuesta alternativa, desde la intervención pedagógica en los territorios desde la educación ambiental de base comunitaria como una de sus expresiones posibles y la consolidación de la pedagogía crítica como respuesta de las comunidades a sus conflictos socio ambientales.

PALABRAS CLAVE: Desarrollo, educación ambiental de base comunitaria, educación popular ambiental, sustentabilidad, pedagogía crítica.

¿QUÉ NOS PREOCUPA?

Habitualmente la concepción de desarrollo ha estado ligada al crecimiento económico y uso desmedido del patrimonio natural, Unceta (2009) afirma que en la actualidad el desarrollo sigue siendo un "fenómeno capaz de empobrecer a personas y sociedades, de generarles pérdidas de capacidades, de identidad, de recursos naturales, de restringir derechos y libertades, y de provocar nuevos desequilibrios y desigualdades" (p. 13).

En concordancia, las políticas de desarrollo tradicionales están en conflicto con las consecuencias que estas mismas han generado a partir de procesos de crecimiento económico para unos y detrimento de las condiciones básicas de vida para otros. Esta situación ha provocado una crisis, no solo a nivel físico-natural, sino también en el ámbito socio-económico. Para Caride y Meira (1998) este tipo de desarrollo ha fomentado tanto el abuso del patrimonio natural, deteriorando progresivamente la biosfera, como la subordinación de las necesidades de grandes comunidades a los objetivos dominantes del avance tecnológico y la acumulación de capital.

En Colombia, al igual que la mayoría de los países del mundo, la concepción de desarrollo se mide de acuerdo al crecimiento económico; en los últimos años el país mejoró el nivel de ingresos y otros indicadores macroeconómicos debido al aumento de diversos proyectos extractivistas a lo largo del territorio nacional; a pesar de ello, en el Plan Nacional de Desarrollo PND 2018-2022 se plantea cómo desde los territorios se ha hablado de la protección de la biodiversidad, pero no hay medidas claras y eficientes para detener la deforestación, la degradación de los ecosistemas y la pérdida de los recursos naturales, todo ello causado por la expansión de la frontera agrícola, el acaparamiento de las tierras, los cultivos de uso ilícito y la extracción de recursos forestales. (p.72). Allí el patrimonio natural es percibido como objetivación y cosificación de la naturaleza, por consiguiente, en

este artículo desde la perspectiva de los autores se asume la categoría de patrimonio natural como aquello que posee un valor intrínseco, que representa lo comunitario; el patrimonio no desde el lenguaje economicista, sino en perspectiva de lo nuestro, el legado de los antepasados, el sustento de la familia, la convivencia, lo colectivo, aquello que es de todos y por ello merece cuidado y consideración, es parte de la vida, no una despensa ilimitada en beneficio de la humanidad esperando para ser extraída y violentada, sino una mirada del ser humano como parte de la naturaleza y las demás formas de vida en relaciones de interdependencia.

En palabras de Gudynas (2000, p.11) el concepto de patrimonio hace referencia tanto a los bienes que se heredan, como a los legados que se dejan a los hijos. Asimismo, el concepto alude a bienes que antes estaban recubiertos de valores espirituales y hoy son capitalizados.

En contraste, la realidad del país demuestra índices de crecimiento económico por la explotación del patrimonio natural, versus las afectaciones a la biodiversidad ecosistémica y el empobrecimiento de las comunidades locales; lo que demuestra que la concepción de desarrollo tradicional como crecimiento económico, deja de lado las condiciones naturales, culturales y sociales de las comunidades de los territorios y afecta la vida en todas sus manifestaciones. Está concepción de desarrollo que conocemos ha conllevado no solo a problemas críticos de deforestación, degradación de los ecosistemas, pérdida de la identidad y rasgos culturales, además de causar una fuerte presión del patrimonio natural en los territorios, ocasiona crisis ambientales multidimensionales.

A manera de propuesta frente a esta realidad, Gudynas (2010) afirma que es relevante la construcción de alternativas cuyo centro sea la acción de las personas que participan en la creación de la vida social, saneando los efectos negativos del capitalismo, transformando la institucionalidad o construyendo una economía centrada en los valores de la solidaridad o la reciprocidad (p. 48).

Es allí, en donde se pretende crear un marco de referencia que sustente las prácticas pedagógicas ambientales de base comunitaria desde la perspectiva de la sustentabilidad y que se construyen desde los territorios, resaltando el valor de la educación popular ambiental y la educación ambiental de base comunitaria, desde las comunidades que afrontan conflictos de carácter socio ambiental.

¿QUÉ SE ENCONTRÓ? ENTRETEJIENDO SABERES

Inicialmente se resalta el valor de la sustentabilidad como apuesta en construcción, dinámica y reflexiva que constituye una propuesta alternativa al desarrollo desde y para las comunidades. Es eximio comprender dentro del territorio diversas prácticas ambientales, maneras de relacionarse, creencias, tradiciones, sentidos y significados, maneras de habitar y de ser con la tierra; las cuales son propias de cada cultura y territorio y que denominamos

sustentables ya que se construyen desde las bases de las realidades ambientales existentes en los territorios y que generan múltiples posibilidades de emergencia y creatividad frente a problemas y conflictos ambientales.

Para Calvente (2007) la Sustentabilidad es un proyecto a largo plazo, teniendo en cuenta que la continua degradación ambiental vulnera nuestro sistema humano, razón por la cual además del cuidado de nuestro Patrimonio natural, también es importante el cuidado de las comunidades, del ser humano como parte de esa naturaleza. Se trata de entender la sustentabilidad alejada del desarrollo como crecimiento económico, sino desde lo alternativo, propio, emergente; se refiere al sustento de la vida, a la posibilidad de sostener un modo de habitar posible en relación con los otros y todas las posibles formas de vida. Sustentabilidad deriva de sustento como posibilidad de alimento, de germen, el ser y estar en el mundo de múltiples maneras con posibilidad de existencia y reexistencias.

Nos encontramos con la posibilidad de develar, relatar y emerger prácticas ambientales desde la perspectiva de la sustentabilidad desde y para estas comunidades, lo que nos lleva escuchar, resignificar y dignificar como la ciudadanía participa en la construcción de los proyectos políticos y económicos que se establecen en sus territorios, de tal manera que se construyen las bases para pensarse la educación ambiental comunitaria desde esta perspectiva.

Al respecto de dichas prácticas, desde la revisión documental para el caso de Colombia se encuentra variedad de objetos de estudio, desde prácticas pedagógicas de educación ambiental, pasando por concepciones de la educación ambiental, hasta llegar a múltiples propuestas sobre manejo de residuos sólidos y aspectos sociales relacionados con basuros. Al finalizar la revisión documental de más de 20 textos de los aportes nacionales y compararlos con los internacionales acerca de educación ambiental, se evidencia una fuerte diferencia en el ámbito social, pues este se presenta con mayor claridad en los aportes nacionales. Los aportes internacionales en cierta manera tienden a recomendar aspectos relacionados con las políticas, la enseñanza y las didácticas de la educación ambiental, más no desarrollan aspectos sociales comunitarios desde las realidades de los territorios, elemento que si se evidencia en los estudios nacionales, por las características propias de pobreza, falta de gestión y presencia del estado, escasas políticas ambientales y precaria gestión ambiental en Colombia.

Frente a lo anterior, el conjunto de propósitos, retos y propuestas sustentables a nivel nacional, departamental y distrital, pone de manifiesto el interés y la necesidad en las comunidades locales de implementar acciones de orden político, económico, natural, cultural y social en favor de mejorar la relación entre los grupos humanos y los lugares que habitan, con una amplia participación ciudadana, por medio de las prácticas ambientales comunitarias; es decir frente al abandono en que se encuentran las comunidades, ellas mismas deben gestionar sus territorios desde necesidades, riesgos y potencialidades.

En concordancia, se resalta la relevancia de las prácticas ambientales comunitarias desde la visión de la educación popular ambiental y la perspectiva de la sustentabilidad. Calixto (2010), citando a Gadotti (2002), relaciona la educación popular con el desarrollo sustentable, proponiendo una ecopedagogía para la reconstrucción de una cultura de sustentabilidad y paz. De este modo, la educación popular ambiental busca impulsar una conciencia ambiental crítica en los educadores y educandos.

Es una educación que conduce a cuestionar los modelos sociopolíticos y económicos dominantes, a des hegemonizar representaciones antropocéntricas del medio ambiente, y a construir estilos de vida armónicos con este. Todo ello conlleva un compromiso político y social transformador, con la esperanza de que es posible otro mundo, mundo que se puede construir desde las realidades del territorio.

El reto está en humanizar, dignificar y democratizar las acciones pedagógicas desde el fortalecimiento de las prácticas culturales de las comunidades marginadas y excluidas por el sistema hegemónico imperante en la sociedad. Por ello, Se inicia con el reconocimiento político de la acción política que realiza Freire, mediada por la relación estrecha entre los sujetos, la política, la acción pedagógica y el proyecto cultural. Aquí, la educación se convierte en la alternativa social más relevante para lograr las transformaciones que se necesitan en cualquier contexto que ha sido subyugado por el sistema hegemónico. Para Freire (2000, p. 26) "toda educación es, además de un acto pedagógico, un acto político".

Frente a lo anterior es importante el cambio en la visión de la educación, pues no se concibe una educación de tipo bancaria, de acumulación de saberes, de relaciones de poder o autoridad, sino que esta demanda estar mediada por el dialogo y el intercambio de saberes, desde la horizontalidad de las relaciones interpersonales.

Es así que el cambio social inicia desde el momento en que se humanizan las realidades de las comunidades, su situación histórica, permitiendo que se construya un diálogo crítico sobre las causas de esas realidades y las respuestas a la solución de cada una de ellas. Un elemento primordial es el reconocimiento de la identidad cultural propia de cada comunidad, identidad que representa las realidades históricas de los pueblos, los cuales en muchos casos han sido invadidos culturalmente por los intereses de los opresores.

Por lo cual, la resignificación del valor del auto aprendizaje, la auto evaluación, la cooperación y la solidaridad comunitaria, posibilita el fortalecimiento de los saberes populares desde las interacciones sociales y las relaciones horizontales.

Para Gisho (2009), el movimiento de Educación Popular iniciado por Freire está situado bajo un paradigma pedagógico emancipador, el cual luego, desde la academia, se asoció a la Pedagogía Crítica, debido a la reflexión de la práctica pedagógica y su propuesta de Educación Popular desde América Latina. Según el autor, en la Pedagogía Crítica se valoran especialmente el diálogo, la tolerancia, la autonomía, la alegría y la esperanza, con el propósito de consolidar el proceso de reconstrucción de sujetos sociales

históricos, bajo un carácter ciudadano que resalta las posibilidades políticas, económicas y culturales de los pueblos.

Alarcón (2020), resalta de la obra de Freire la creación de alternativas populares que, desde la Pedagogía Crítica, consolidan la construcción de un nuevo sujeto, quién está en capacidad de transformar el mundo del que hace parte, por medio del diálogo como elemento articulador revolucionario, transformador, democrático y popular.

Precisamente, este diálogo es el que, desde las relaciones horizontales de los diferentes grupos, permite el florecimiento del contexto histórico, político y el fortalecimiento de las tradiciones culturales. Por tanto, la pedagogía crítica se fundamentan desde la educación popular, emergiendo un nuevo conocimiento social que se retroalimenta de las relaciones entre el saber popular, la práctica y la teoría, la construcción colectiva del conocimiento y la emancipación del valor y la identidad cultural.

De acuerdo con Leff (2004), la pedagogía crítica invita a la praxis para la transformación social, desde la construcción de una racionalidad ambiental como proceso político y social. Naturalmente, dicha construcción pasa por la confrontación y concertación de intereses opuestos, y el rescate del saber ambiental hacia el desarrollo de una nueva racionalidad social. La educación popular promueve la educación desde las realidades emancipadoras de las comunidades; en este contexto toma fuerza la educación popular ambiental, la cual demanda una educación que responda a las necesidades de los territorios ricos en biodiversidad.

Cabe mencionar que el potencial del patrimonio natural es característico de los territorios que sufren la hegemonización del poder, y donde la educación popular ambiental surge como respuesta emancipadora a la dominación. Con respecto al surgimiento de la educación popular ambiental se encuentran aportes de diversos autores, quienes resaltan el valor emancipador de esta nueva pedagogía dentro de la corriente crítica. Freire (2000) reconoce el papel de la acción política que implica la organización de las clases populares para intervenir y reestructurar la sociedad, dando relevancia al contexto, desde el cual se desarrollan proyectos de resistencia y cambio, que se reorganizan en función de las particularidades de los territorios y sus localidades (como se citó en Mejía, 2014). Así, toma forma la construcción de un nuevo paradigma de educación ambiental, desde la educación popular ambiental.

Calixto (2010) representa la educación popular ambiental como una alternativa significativa para analizar, reflexionar y proceder a una construcción colectiva de las relaciones entre la economía, la sociedad y la naturaleza, surgida de los movimientos ambientalistas latinoamericanos. Para este autor, la educación popular ambiental cuestiona los parámetros dominantes de una educación ambiental de orientación ecológica, y configura una propuesta que brinda elementos valiosos para analizar críticamente el discurso de la globalización y del desarrollo sustentable, a partir de las luchas de cambio social y las características culturales y ecológicas propias de las comunidades locales.

De esta manera, se caracteriza a la educación popular ambiental como el fomento de una conciencia ambiental crítica, reconstruyendo y des-hegemonizando el uso mercantil del medio ambiente, para desarrollar una postura política y social transformadora desde otras realidades locales, la cual responde a las necesidades de las comunidades. Un elemento relevante de la educación popular ambiental, es la importancia del desarrollo sustentable como una alternativa para las comunidades marginadas y excluidas. Esta contribuye a la construcción de una sociedad solidaria a partir de la formación de sujetos que hacen una lectura crítica de la realidad de sus contextos, identificando problemas y generando desde ellos mismos las propuestas, las acciones y las posibles soluciones.

En dicho proceso, se privilegia la solidaridad, el reconocimiento de las diferencias y la igualdad de oportunidades, características propias de la Educación Popular (Calixto, 2010). Gadotti (2002) define la Educación Popular Ambiental como la cultura de la Sustentabilidad, la cual parte del principio de que la tierra está constituida por una sola comunidad de seres humanos, quienes son ciudadanos de una única nación. Esta visión le da un carácter político y de ciudadanía a la construcción de la propuesta de la sustentabilidad, relacionándola directamente con la educación popular ambiental como estrategia ambiental comunitaria inmersa dentro de la pedagogía crítica.

Cevallos y Martínez (2020) caracterizan la educación popular emancipadora como aquella que permite el empoderamiento de los pueblos y de las comunidades en la construcción de nuevos paradigmas de vida. Asimismo, resalta cómo la pedagogía crítica permite una resignificación de los saberes, desde el trabajo cotidiano y la convivencia de la comunidad. Por su parte, Santos y Meneses (2015) enfatizan en el sentido intercultural del diálogo de saberes que se da entre las diversas sabidurías, las manifestaciones culturales locales, el arte popular y el trabajo cooperativo.

García (2020) ubica a la educación popular ambiental en la corriente educativa socio constructivista. Esta sostiene que el sujeto aprende, construye y desarrolla los conocimientos a través de la interacción con su ambiente físico y social, privilegiando así las metodologías participativas. Dentro de estas, destaca el enfoque de la Investigación-Acción-Participación como parte esencial metodológica que permite la construcción colectiva y el diálogo de saberes. Por tanto, se evidencia cómo la educación popular ambiental se convierte en una práctica educativa emancipadora, que permite la formación de sujetos críticos y activos, comprometidos con el entorno, la comunidad y su territorio.

> *Aquí, la educación ambiental alza su vuelo desde la Patagonia y los Andes para bañar toda América Latina con una nueva mirada, para surcar nuevos mares y conectarse con otros movimientos sociales que quieren renovarse para re-existir, para abrir la jaula de hierro de la racionalidad económica e instrumental que hoy devasta al planeta y erosiona la tierra, que sobrecalienta la atmósfera y deseca nuestros ríos, que agota a la naturaleza y oprime nuestra existencia; para reafirmar la vida y navegar hacia nuevos horizontes de sustentabilidad.*
> *Leff, Enrique*

En la construcción de un diálogo de saberes entre la educación popular ambiental, educación ambiental de base comunitaria y pedagogía crítica en perspectiva de sustentabilidad conlleva a revisar la relevancia de la sustentabilidad como propuesta de bienestar en y desde los territorios. Frente a lo anterior la sustentabilidad se caracteriza por ser:

1. Alternativa. Guimarães (2002), afirma sobre la necesidad transitar hacia un estilo de desarrollo alternativo que implique un cambio en el patrón eco-cultural dominante. La comprensión de las causas de la crisis ambiental de la concepción de desarrollo ecológicamente depredador, socialmente injusto y culturalmente alienado y su transición hacia una nueva concepción, construida desde los territorios. De tal manera que, retoma otras propuestas en torno al desarrollo, pero desde las realidades de las comunidades.

2. De carácter social. Toledo (2011) plantea que la dinámica de diálogo de saberes constante en la comunidad favorece la formación de promotores socioambientales, en línea con la concepción de sustentabilidad como poder social.

Ese poder social que emana de las realidades de las comunidades y que busca *resolver las problemáticas que les aqueja.* Landa (2010), afirma como el desarrollo sustentable se relaciona con las necesidades de las poblaciones vulnerables, la atención de los grupos marginados y las oportunidades de estos para superar la pobreza, mejorando condiciones de calidad de vida a través de la distribución equitativa del crecimiento económico y el cuidado del patrimonio natural.

Por ello, el carácter social de la sustentabilidad está en la construcción social que emerge de la tensión productiva del encuentro de seres y el diálogo de saberes, tal como lo plantea Leff (2008, p. 239), en donde cuestiona el imperio de una racionalidad cosificadora y objetivadora, de la mercantilización de la naturaleza y la economización del mundo, por lo cual emerge la sustentabilidad como alternativa de carácter social, desde los territorios.

3. Da valor al territorio. La sustentabilidad se ubica en las comunidades y en sus territorios. Para Leff (1994), el territorio es el lugar donde la sustentabilidad se enraíza con bases ecológicas e identidades culturales; es el espacio social donde las comunidades tienen el poder para intervenir el patrimonio natural en proyectos que les beneficie. Este poder social desarrolla los principios políticos que las comunidades deben establecer frente al derecho al territorio y la posibilidad de nuevas concepciones de vida (2008, p. 97).

Para el autor, los saberes tradicionales y locales, basados en una larga convivencia y experiencia productiva, han incorporado las condiciones de sustentabilidad, lo que entreteje los territorios, las comunidades y el diálogo de saberes en pro de la sustentabilidad (2008, p. 173).

4. Desarrolla la participación ciudadana. Gudynas (2011, p. 18) afirma que la sustentabilidad superfuerte requiere la participación ciudadana, ya que utiliza otros saberes y sensibilidades, que se consideran igualmente válidos y necesarios (como los conocimientos locales o tradicionales, percepciones de la comunidad); lo que hace que la sustentabilidad superfuerte se vuelva necesariamente participativa y consultiva.

5. Se consolida en el Diálogo de saberes. Leff (2008) desarrolla varios elementos relevantes muy significativos con relación al diálogo de saberes. Plantea como el tránsito hacia la sustentabilidad requiere una generación de conocimientos, saberes y acciones prácticas, a través del intercambio de experiencias y la construcción de un diálogo de saberes entre los diversos espacios institucionales, grupos científicos, programas académicos y acciones ciudadanas, en los que participan los diversos actores sociales que confluyen en la construcción de sociedades sustentables.

Para el autor el diálogo de saberes es interlocución con actores que han perdido la memoria y la palabra, con saberes tradicionales que han sido sepultados por la modernidad. Es así como el diálogo se convierte en la recopilación de los saberes borrados por la ciencia dominante. Para Leff, citando a Steiner (2008, p. 242) es la recuperación de esas

> *"lenguas que una vez fueron de fuego, pero que han sido obliteradas en mudas cenizas".*

Este trabajo colectivo donde confluye el cuidado de la naturaleza con la diversidad cultural, orienta la construcción del conocimiento desde las comunidades, hacia una sustentabilidad compartida

6. Es emancipatoria. Para Leff (2008, p. 247) la educación se renueva en el espíritu emancipatorio que impulsa una nueva comprensión del mundo, a partir del pensamiento de la complejidad, de la política de la diferencia y de la ética de la responsabilidad con la naturaleza y con la sociedad, siendo primordial en los procesos comunitarios, ya que; el intercambio de experiencias y el diálogo de saberes dentro de las comunidades es clave para la construcción de la sustentabilidad. Para el autor, la escuela puede ser el mejor laboratorio, el mejor espacio de experimentación y de formación para este cambio civilizatorio (p. 190).

7. Dialoga con el saber ambiental. Leff (2008, p. 114) afirma que la construcción de la sustentabilidad se orienta desde una racionalidad ambiental fundada en principios de diversidad ecológica y cultural, integrando los conocimientos, acciones y organizaciones en la construcción de un bien común que promueva espacios donde de racionalidad, el encuentro de diferentes culturas, los saberes, las experiencias y las prácticas se entrelazan para el desarrollo de procesos y proyectos de orden comunitario.

8. Por último, *Tiene carácter político.* Para Leff (208, p. 237) la sustentabilidad reivindica las identidades culturales y el diseño de nuevas estrategias de reapropiación de la naturaleza, por medio de acciones de orden político que conllevan a la confrontación, la resistencia y la negociación con la globalización económico-ecológica que se han desarrollado en las comunidades indígenas y campesinas locales, convirtiéndose en un campo de debate y de disputa, en donde se constituyen nuevas identidades en el encuentro de saberes y el intercambio de experiencias entre sociedades indígenas y campesinas.

¿Cuál es nuestra esperanza?

La participación de la ciudadanía es clave para la construcción de una educación ambiental comunitaria. Esta educación comunitaria de base popular y desde la perspectiva de la sustentabilidad, se fundamenta en la concepción del patrimonio natural como parte de la fuerza cultural de la comunidad, y genera espacios de integración para afrontar las problemáticas y explorar las oportunidades de su territorio, desde prácticas pedagógicas basadas en el diálogo y el intercambio de saberes, facilitando que las comunidades locales se apropien de sus territorios a través de la formación y reconstrucción de sujetos sociales con carácter ciudadano, posibilitando así la transformación social.

Estas participaciones ciudadanas suscitan procesos de emancipación de comunidades locales, que implican la construcción de una nueva racionalidad social, que posibilita que las comunidades se reconozcan como productoras de conocimientos científicos sociales, rescatando sus saberes y conocimientos tradicionales, y exaltando la interculturalidad.

Para Freire, las experiencias comunitarias buscan la posibilidad de producir nuevos conocimientos, dándole otro sentido al valor del territorio desde la interculturalidad. Es decir, se reconoce que el conocimiento se construye desde todos, y que el diálogo hace parte esencial de la esperanza, el cual permite la liberación de los pueblos y tener su protagonismo en la búsqueda de la reivindicación de sus conocimientos y verdades. En conclusión, es posible reconocer que la educación popular ambiental, como práctica de resistencia local, hace los siguientes aportes a la pedagogía crítica: Genera espacios de integración comunitaria para afrontar las problemáticas y explorar las oportunidades de su territorio, desde prácticas pedagógicas basadas en el diálogo y el intercambio de saberes, facilita que las comunidades locales se apropien de sus territorios a través de la formación y reconstrucción de sujetos sociales con carácter ciudadano, posibilitando así la transformación social, suscita procesos de emancipación de comunidades locales, que implican la construcción de una nueva racionalidad social, posibilita que las comunidades se reconozcan como productoras de conocimientos científicos sociales, rescatando sus saberes y conocimientos tradicionales, y exaltando la interculturalidad.

Se adjunta cuadros de elaboración propia con las categorías estudiadas.

CATEGORÍAS	AUTORES	PRINCIPALES APORTES
EDUCACIÓN AMBIENTAL	Rodríguez y García (2005) Nay-Valero y Cordero-Briceño (2019), Layrargues y Lima (2014) Sauvé (2005), Martínez, (2010), Layrargues y Lima (2014)	Óptica social, política, económica, ética, jurídica y cultural, desde las diversas sociedades y su relación con el ambiente. Discurso que tome en cuenta las problemáticas y particularidades de sus contextos, convirtiendo los lineamientos internacionales en estrategias útiles y coherentes para cada comunidad. Conceptos clave como: Ciudadanía, Democracia, Participación, Empoderamiento, Conflicto, Justicia Ambiental y Transformación Social.
PRACTICA AMBIENTAL DE BASE COMUNITARIA	Groot (2009)	Práctica pedagógica toda actividad cotidiana, en la que se reconoce la construcción de conocimiento y la formación de los estudiantes como vía para el desarrollo personal y la convivencia social de estos mismos (
COMUNIDAD	Socarrás (2004)	Lo cultural se erige como un eje determinante, en donde el sentido de pertenencia permite la movilización, la cohesión y la cooperación entre los habitantes de una comunidad.

CATEGORÍAS	AUTORES	PRINCIPALES APORTES
EDUCACIÓN POPULAR AMBIENTAL	Calixto, (2010), Souza (2021) Calixto (2010) Souza (2021) Gadotti (2002)	• Modelo de sociedad que supere las injusticias socio ambientales. • Experiencias sobre las luchas sociales, polas socio ambientales • Valor dentro de lo ambiental a las relaciones sociales, la historia, la cultura y la necesidad de una posicia cohesión y la cooperación entre los habitantes de una comunidad. convivencia social de • Ecopedagogro de lo ambiental a las relaciones sociales, la historia, la cultura y lncia ambiental cra posicia cohesión y la cooperación entre los habitantes de una comunidad. convivencia social de estos mismos (sociales con carácter ciudadano, posibilitancia
SUSTENTABILIDAD	(Barney, 1994; Rumelt, 1984) Zarta (2018) Leff (2000)	• Diff (2000) ; Rumelt, 1984) es antropociones sociales, la historia, la cultura y lncia ambiental cra posicia • Producci00) ; Rumelt, 1984) es antropociones sociales, lanecesidades humanas y se garantice una mejor calidad de vida a la población en general, con tecnologías limpias en una relación no destructiva con la naturaleza, en la cual la ciudadanía participe de las decisiones del proceso de desarrollo, fortaleciendo las condiciones del medio ambiente y aprovechando los recursos naturales, dentro de los límites de la regeneración y el crecimiento natural. • Proceso polde bienes y servicios, donde se satisfagan las necesidades humanas y se garantice una mejor calidad de vida a la población en general, con tecnologías limpias en una relación no destructiva con la naturaleza, en la cual la ciudadanía partque movilizan los cambios históricos, transformando los principios que rigen la organización social.

DESARROLLO	Unceta (2009) Gudynas (2015) Sen (2000)	• "en (2000)015)bienes y servicios, donde se satisfagan las necesidades humanas y se garantice una mejor calidad de vida a la población en general, con tecnologías limpias en una relación no destructiva con la naturaleza, en . 13). • Examina los extractivismos como la apropiacis como la apropiacila apropiaciciedades, de generarles p calidad de vida a la población en general, con tecnologías limpias en una relación no destructiva con la naturaleza, en . 13). la ciudadanía pars y ambientales. • Ana apropiacis como la apropiacila apropiaciciedades, de generarles propiaciciedades, de generarles p c
PRÁCTICAS AMBIENTALES PEDAGÓGICAS Y COMUNITARIAS	Groot (2009)	• Práctica pedagógica toda actividad cotidiana, en la que se reconoce la construcción de conocimiento y la formación de los estudiantes como vía para el desarrollo personal y la convivencia social de estos mismos.
PEDAGOGÍA CRÍTICA	Leff (2004)	• La Pedagogía Crítica invita a la praxis para la transformación social, desde la construcción de una racionalidad ambiental como proceso político y social. Naturalmente, dicha construcción pasa por la confrontación y concertación de intereses opuestos, y el rescate del saber ambiental hacia el desarrollo de una nueva racionalidad social.
PROBLEMAS Y CONFLICTOS AMBIENTALES	(Pérez Garcés, Zárate Yepes, y Turbay Ceballos, 2011). (Walter, 2009), Fontaine (2004), Martínez Alier y Roca Jusmet, 2013)	• El conflicto es una acción colectiva, es decir, una situación que implica la contraposición de intereses, derechos, perspectivas, racionalidades o lógicas en torno a la percepción y la comprensión de la realidad, entre actores. Escobar (2014) aborda los conflictos ambientales, como conflictos ontológicos, en los que se enfrentan cosmovisiones o visiones de mundo distintas, aunque no necesariamente antagónicas. (En Vera rodríguez et al 2019)

REFERENCIAS

Alarcón Ferrari, C. (2020). Crisis socio ecológicas y educación popular ambiental en el mundo rural: la relevancia de Paulo Freire para los estudios críticos de la comunicación ambiental y la educación para el desarrollo sostenible. Paulo Freire. Revista De Pedagogía Crítica, (24), 149-171. https://doi.org/10.25074/07195532.24.1835

Calixto, R. (2010). Educación popular ambiental. Trayectorias, 12(30), 24-39. https://www.redalyc.org/pdf/607/60713488003.pdf

Caride, J. y Meira, P. (1998). Educación ambiental y desarrollo: la sustentabilidad y lo comunitario como alternativas. *Pedagogía social: revista interuniversitaria*, (2), 7-30. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2714228

Departamento Nacional de Planeación. (2019). *Colombia hacia el crecimiento verde*. Autoedición. https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/eventos/cierre/PDF_Colombia%20hacia%20el%20crecimiento%20verde_MP.pdf

Cevallos, B. y Martínez, X. (2020). Educación Popular, Educación Ambiental y Buen Vivir en América Latina: una experiencia socioeducativa de empoderamiento comunitario. Quaderns d'animació i educació social, (30), 1-26. http://quadernsanimacio.net/ANTERIORES/treinta/index_htm_files/Educacion%20 Popular.pdf

Freire (2000). La educación como práctica de la libertad. 10ª Edición. España: Siglo XXI Editores S.A

Gadotti, M. (2002). Pedagogía de la Tierra. Siglo XXI Editores.

García, O. (2020). Educación popular ambiental en contextos de crisis. Orientaciones pedagógicas para transitar las alternativas eco sociales. Paulo Freire. Revista De Pedagogía Crítica, (24), 38-55. https://doi.org/10.25074/07195532.24.1812

Gisho, A. (2009). Pedagogía Social en América Latina: Legados de Paulo Freire. Revista Relaciones. http://www.chasque.net/frontpage/relacion/0008/reducacion.htm

Gudynas, E. (2000). Los límites de la sustentabilidad débil, y el tránsito desde el capital natural al patrimonio ecológico. Educación, Participación y Ambiente, MARN, Caracas, 4(11): 7-11, 2000. Centro Latino Americano de Ecología Social (CLAES), Casilla Correo 13125, Montevideo 11700, Uruguay. claes@adinet.com.uy

Gudynas, Eduardo y Alberto Acosta. 2011. La renovación de la crítica al desarrollo y el Buen Vivir como alternativa. Utopía y Praxis Latinoamericana. Revista Internacional de Filosofía Iberoamericana y Teoría Social 16 (53): 71-83.

Gudynas (2011) Contornos educativos de la sustentabilidad, libro compilado por J. Reyes Ruiz y E. Castro Rosales, y publicado por la Editorial Universitaria, Universidad de Guadalajara, México.

Guimarães, R. (2002). La ética de la sustentabilidad y la formulación de políticas de desarrollo. En Alimonda, H. (Ed). Ecología Políticas, Naturaleza, Sociedad y Utopía. Buenos Aires, Argentina: CLACSO.

Landa, R., B. Ávila y M. Hernández (2010). Cambio Climático y Desarrollo Sustentable.

Cambio Climático y Desarrollo Sustentable (atl.org.mx)

Leff, E. (1994). *Ecología y capital. México: Siglo XXI.*

Leff, Enrique. (2008). Discursos sustentables. Editorial Siglo XXI, México.

Ecología y capital : Racionalidad ambiental, democracia participativa y desarrollo sustentable - Leff, Enrique (bibliotecas.gob.ar)

Mejía, M. (2014). La Educación Popular: Una construcción colectiva desde el Sur y desde abajo. Archivos Analíticos de Políticas Educativas, 22, 1-31. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=275031898079

Nay-Valero, M. y Cordero-Briceño, M. E. (2019). Educación Ambiental y Educación para la Sostenibilidad: historia, fundamentos y tendencias. *Encuentros, 17*(02), 187-201. https://www.redalyc.org/jatsRepo/4766/476661510004/476661510004.pdf

Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea Vitoria-Gazteis, España

Calvente Ref. Socioecología y desarrollo sustentable UAIS-SDS-100-002 112742.n28.18

Santos, B. y Meneses, M. (2015). Epistemologías del Sur. Revista Española de Investigaciones Sociológicas, (152), 189-202. http://www.reis.cis.es/REIS/PDF/REIS_152_131444303366331.pd

Toledo, V. (2011). Del 'diálogo de fantasmas' al 'diálogo de saberes': conocimiento y sustentabilidad comunitaria.

Unceta, Koldo. 2009. Desarrollo, subdesarrollo, maldesarrollo y postdesarrollo: una mirada transdisciplinar sobre el debate y sus implicaciones. Carta latinoamericana. Contribuciones en desarrollo y sociedad en América Latina. (7): 1-34.

RAISSA RACHEL SALUSTRIANO DA SILVA-MATOS: Bióloga pela Universidade de Pernambuco - UPE (2009), Mestre em Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas pela Universidade Federal do Piauí - UFPI (2012) e Doutora em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba - UFPB (2016). Professora adjunta do curso de Agronomia do Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh) da Universidade Federal do Maranhão (UFMA) e professora permanente do Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCAM) do CCCh/UFMA. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em fitotecnia, fisiologia das plantas cultivadas, propagação vegetal, manejo de culturas, nutrição mineral de plantas, adubação, atuando principalmente com fruticultura e floricultura. Lattes: http://lattes.cnpq.br/0720581765268326

IZUMY PINHEIRO DOIHARA: Graduada em Agronomia pela Universidade Estadual do Maranhão/UEMA (1997). Mestrado em Fitopatologia pela Universidade Federal Rural de Pernambuco (2005) e Doutorado em Agronomia - Ciência do solo (2015). Atualmente é professora adjunta do Centro de Ciências de Chapadinha da Universidade Federal do Maranhão. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fitossanidade, atuando principalmente nas áreas de Fitopatologia (Nematoides fitoparasitas e Fungos Fitopatogênicos) e Microbiologia agrícola. Lattes: https://lattes.cnpq.br/1097520704397136

SHAFIRA COSTA LINHARES: Graduanda em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal do Maranhão (UFMA) - Centro de Ciências de Chapadinha (CCCh), diretora de projetos na empresa AGROPEC JR. vinculada a Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Tem experiência principalmente com floricultura, operação de drone e classificação de grãos (soja e milho). Lattes: http://lattes.cnpq.br/3363813778258712

ÍNDICE REMISSIVO

MEDIO AMBIENTE:

Agricultura, desarrollo y sustentabilidad

2

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2023

MEDIO AMBIENTE:

Agricultura, desarrollo y sustentabilidad

2

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

@atenaeditora

www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Ano 2023